

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.06.014

# 一种基于背景加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法

刘欢敏<sup>1,3</sup>, 龙永新<sup>1</sup>, 张长隆<sup>2,3</sup>

(1. 湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082;  
3. 湖南基石信息技术有限公司, 湖南 长沙 410100)

**摘要:**经典的 Mean-Shift 算法以颜色直方图为特征进行跟踪,但在视频目标跟踪中没有有效地利用跟踪目标的空间信息,因而当目标快速移动时,目标极易丢失。针对这一问题,提出了一种基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法。距离目标形心加权直方图可有效利用目标在图像中的位置信息,从而能实现复杂背景下的目标跟踪。并分别用改进的基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法和经典的 Mean-Shift 跟踪算法,对快速运动的目标进行跟踪实验。结果表明,改进的基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法,具有较强的鲁棒性和实时性,能有效实现复杂场景下的目标实时跟踪。

**关键词:**目标跟踪; Mean-Shift 算法; 加权直方图; HSV 颜色空间

**中图分类号:** TP91; TP317.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2015)06-0069-05

## A Mean-Shift Tracking Algorithm Based on Background Weighted Histogram

Liu Huanmin<sup>1,3</sup>, Long Yongxin<sup>1</sup>, Zhang Changlong<sup>2,3</sup>

(1. School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;  
3. Hunan Keyshare Information Technology Co., Ltd., Changsha 410100, China)

**Abstract:** The classic Mean-Shift tracking algorithm, characterized by the color histogram, does not make full use of the position information of the target, therefore it is easy to lose the target as the target fast moving. Proposes a Mean-Shift tracking algorithm based on weighted histogram of the distance to target center. The weighted histogram effectively uses the target spatial information in the image to achieve the target tracking in complex background. Applies respectively the improved Mean-Shift tracking algorithm and classic Mean-Shift tracking algorithm for fast moving target tracking tests. The result shows that the improved algorithm has good robustness and real-time performance and effectively achieves the target tracking in complex scenes.

**Keywords:** target tracking; Mean-Shift algorithm; weighted histogram; HSV color space

## 0 引言

目标跟踪已被广泛地应用于交通监控、视频编码、机器人视觉导航以及军工领域中<sup>[1-3]</sup>。当目标快速运动、目标变形或目标被遮挡时,如何在视频序列中对感兴趣的进行有效跟踪,一直是计算机

视觉领域研究的重点与难点。

目前,许多目标跟踪算法是通过获取相邻帧之间的信息,然后通过对相邻帧间图像中目标的相似度以实现目标跟踪。Mean-Shift<sup>[4]</sup>算法以颜色直方图为特征进行跟踪,它是一种较为高效的目标跟踪算法<sup>[5]</sup>,现已被广泛地应用于目标跟踪领域中<sup>[6-9]</sup>。

收稿日期: 2015-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170102)

作者简介: 刘欢敏(1991-),女,湖南湘潭人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为图像处理,

E-mail: huanmin.liu@keyshare.com.cn

较多科研工作者对其进行了研究,如 G. R. Bradski<sup>[8]</sup>提出了不变矩的特征判定方法,但是其矩特征的计算较为复杂,严重影响了 Mean-Shift 跟踪算法的实时性;于纪征等<sup>[10]</sup>提出了一种基于 Mean-Shift 和边缘检测的轮廓跟踪算法,然而当目标变形或被遮挡时,目标极易丢失;马丽等<sup>[11]</sup>提出了一种基于目标颜色特征的改进的均值漂移算法,对于符合颜色模板的目标点,不论其在直方图中的概率大小,都赋予相同的最大权值,使目标最大限度地成为密度极值区,以克服干扰产生的影响,但是当目标运动较快时,目标极易丢失。

以上研究结果表明,经典的 Mean-Shift 算法在视频目标跟踪中,没能有效地利用跟踪目标的空间信息,因而当跟踪目标快速移动时,极易丢失目标。针对这一问题,本研究提出一种复杂场景下的目标跟踪算法——基于距离目标中心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法,即基于 HSV 颜色空间概念和 Mean-Shift 算法的思想,利用距离目标中心加权直方图,以有效利用目标在图像中的位置信息,从而实现复杂背景下的目标跟踪。最后,分别用所提出的基于距离目标中心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪改进算法与经典的 Mean-Shift 算法,对快速运动的目标进行跟踪实验,以验证改进算法的鲁棒性和实时性。以期为有效实现复杂场景下的目标实时跟踪提供一定的理论参考。

## 1 基础理论

### 1.1 HSV 颜色空间

HSV 颜色空间,是根据色调 H、饱和度 S、亮度 V 等颜色的直观特性创建的一种颜色空间<sup>[12]</sup>,也称六角锥体模型。RGB 颜色模型是适合硬件成像显示的颜色模型,而 HSV 颜色模型则是适合人眼视觉特征的颜色模型。具体的 HSV 颜色空间模型如图 1 所示,图中的六边形边界表示色彩,水平轴表示纯度,颜色亮度沿垂直轴测量。

选择 HSV 作为目标跟踪的颜色空间模型,是因为其具有以下优点<sup>[13]</sup>:

- 1) HSV 颜色空间模型符合人眼对颜色的感知。
- 2) 采用 RGB 颜色模型时,改变某一颜色的属性,如色调,就必须改变 R、G、B 3 个坐标;而采用 HSV 颜色模型时,只需要改变 H 坐标<sup>[14]</sup>。

- 3) HSV 颜色空间是一个均匀的颜色空间,可以采用线性的标尺,且均匀的颜色空间能够使得目标颜色区间连续地落在一定的区域范围内,而不会像 RGB 颜色模型那样,使得目标的颜色区间落在坐标

中的各个位置处。

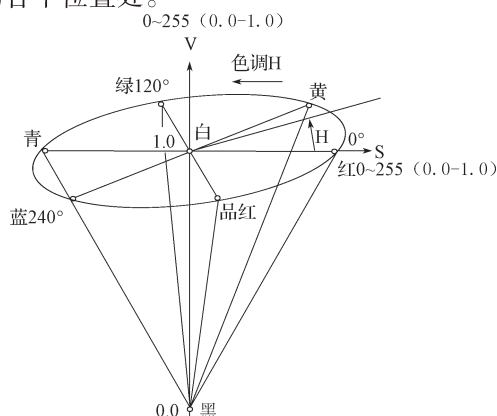


图 1 HSV 颜色空间模型

Fig. 1 HSV color space model

### 1.2 Mean-Shift 跟踪算法的基本思想

使用一个物体的颜色分布来描述这个物体<sup>[15]</sup>,即颜色直方图。假设被跟踪的目标是中心位于  $x_0$ 、窗宽为  $h$  的矩形,则该目标可以用颜色直方图表示,如公式(1)所示:

$$\hat{q}_u = c \sum_{i=1}^n k \left( \frac{x_i - x_0}{h} \right)^2 \delta(b(x_i) - u). \quad (1)$$

式中:  $c$  为目标区域的归一化系数;

$h$  为目标带宽;

$k(\cdot)$  是一个核函数,并且满足  $\int k(x) dx = 1$ ;

$\delta(\cdot)$  是 Kronecker delta 函数。

$\delta(b(x_i) - u)$  用来确定矩形区域内像素点  $x_i$  是否在第  $u$  个特征区间内:如果在,令其等于 1;如果不在,令其等于 0。

候选的位于  $y$  处的目标也可以用直方图表示,如公式(2)所示:

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

式中  $c_h$  为候选区域的归一化系数。

因此,当图像采用直方图建模时,基于给定目标与候选目标,直方图之间的相似性可以简化为寻找最优的  $y$ ,以使得  $\hat{p}_u(y)$  与  $\hat{q}_u$  最相似。

$\hat{p}_u(y)$  与  $\hat{q}_u$  的相似性用 Bhattacharyya 系数  $\rho(y)$  来度量分布表示<sup>[14]</sup>,形如公式(3):

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

将式(3)在点  $p_u(y_0)$  泰勒级数展开可得式(4):

$$\rho[p(y), q] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p(y_0) q_u} + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m p_u(y) \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}}. \quad (4)$$

将式(2)代入式(4),并将其整理后可以得到式(5):

$$\rho[p(y), q] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p(y_0)q_u} + \frac{c_h}{2} \sum_{i=1}^n w_i k \left( \frac{x_i - y}{h} \right)^2 \quad (5)$$

式(5)中的  $w_i$  为相似性系数, 且

$$w_i = \sum_{u=1}^m \delta(b(x_i) - u) \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \quad (6)$$

## 2 改进的 Mean-Shift 跟踪算法

### 2.1 基于背景加权直方图的算法

颜色直方图是用来统计图像或图像的某个区域中每个颜色级的分布情况的。为了增强算法的鲁棒性, 并将其与 Mean-Shift 算法巧妙结合, 在描述目标区域的直方图时, 采用带有空间位置信息的加权直方图。为了减少光照强度的影响, 将颜色空间从 RGB 转换到 HSV 颜色空间; 同时, 为了满足 Mean-Shift 算法的实时性要求, 在计算颜色加权直方图时, 放弃亮度分量 (V) 与饱和度分量 (S), 只计算其色度分量 (H)。

用鼠标选定一个选框, 将目标选定在选框内, 则可将目标在二维的图像平面里表示为一个矩形区域。设矩形的宽与长分别为  $t_w$ ,  $t_h$ , 则矩形右下角的坐标为  $(t_w, t_h)$ 。

基于距离目标形心加权直方图算法的基本思想是: 在计算直方图时, 给每个点赋予一定的权值, 权值的大小为此点到中心点距离的平方。

直方图加权算法描述如下:

1) 将摄像头采集到的图像由 RGB 颜色空间转换至 HSV 颜色空间;

2) 将矩形区域内的每个点  $(i, j)$  的色度 H 分量的值, 映射到直方图颜色级上, 并将其标识为  $q_h$ ;

3) 根据矩形框内某一个像素点的坐标, 计算该像素点  $(i, j)$  到矩形中心点的距离  $dist$ , 并且计算其权值  $w(i)$ ;

$$dist = (i - t_w/2)^2 + (j - t_h/2)^2,$$

$$w(i \times t_w + j) = 1 - dist/h,$$

式中  $h$  为带宽, 且  $h = t_h^2/4 + t_w^2/4$ ;

4) 计算目标权值直方图  $hist$ ,

$$hist[q_h] = hist[q_h] + w((i - t_w/2) \times t_w + (j - t_h/2));$$

5) 归一化直方图。

### 2.2 基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 算法实现

基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 算法的跟踪流程描述如下:

1) 摄像头采集第  $i$  帧图像, 并将其转换至 HSV 空间, 若采集的图像为第 1 帧, 则转到步骤 2), 否

则转至步骤 3)。

2) 选定待跟踪目标, 通过 2.1 节描述的算法计算目标距离加权直方图  $hist1$ 。

3) 计算均值偏移量  $M_h(x)$ 。

设第  $i$  帧目标中心坐标是  $C_1(x_1, y_1)$ , 按如下步骤计算第  $i+1$  帧的目标中心坐标  $C_2(x_2, y_2)$ 。

i) 根据距离颜色直方图加权算法, 计算第  $i+1$  帧目标距离加权直方图  $hist2$ ;

ii) 计算相似性系数  $w$ , 式中的  $(i, j)$  表示某一点在矩形框中的位置;

iii) 分别计算第  $i+1$  帧的目标中心坐标。

$$x_2 = \frac{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{ht} i \times w}{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{ht} w},$$

$$y_2 = \frac{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{ht} j \times w}{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{ht} w}.$$

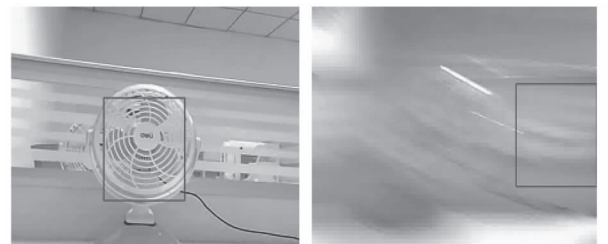
4) 当  $C_1C_2$  两点之间的距离小于  $DIST$ , 或者当迭代次数大于  $NUM$  或小于  $DIST$  (程序开始时设定) 时, 停止计算; 否则, 将  $C_2$  作为  $C_1$  返回步骤 1), 继续以上运算。

经过上述步骤, 在一定的 Mean-Shift 向量迭代之后, 将目标框移动到了目标实际所在位置。目标跟踪, 实际上就是将上述步骤应用在第一帧图像之后的每一帧图像上, 从而将目标框迭代到真正所在位置的过程。

## 3 实验与分析

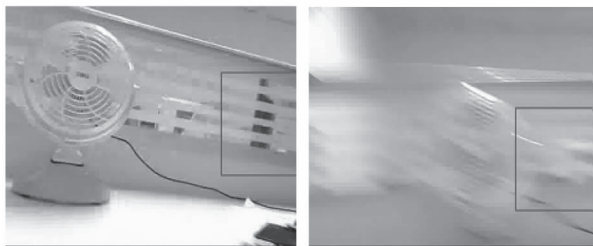
实验的硬件设施: 主频为 3.10 GHz、内存为 4 G 的清华同方 PC。

实验操作: 采用 1080P 的摄像头, 以绿色小风扇、彩色方格与红色水杯作为实验目标, 分别录制一段视频。各视频均在复杂的背景下录制, 且目标快速运动、旋转。在实验过程中, 目标的初始化是用鼠标定义的。对于同一个视频, 分别使用经典的 Mean-Shift 跟踪算法与改进的基于距离目标形心加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法进行处理, 图 2 所示为绿色小风扇视频中部分图像以经典 Mean-Shift 算法跟踪的结果, 图 3 所示为对应图像以改进的 Mean-Shift 算法跟踪的结果。



a) 第 59 帧

b) 第 172 帧



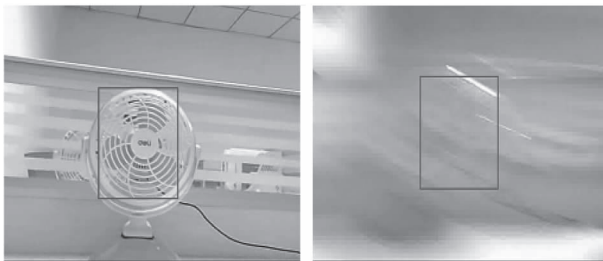
c) 第174帧

d) 第176帧

图2 经典的 Mean-Shift 跟踪算法结果

Fig. 2 The result of classical Mean-Shift tracking algorithm

由图2可以看出,使用经典的 Mean-Shift 跟踪算法的跟踪过程中,当目标运动速度较快时,图片会变得模糊,矩形跟踪框偏离目标,最终导致跟踪失败(如第172帧)。



a) 第59帧

b) 第172帧

c) 第174帧

d) 第176帧

图3 改进的 Mean-Shift 跟踪算法结果

Fig. 3 The result of improved Mean-Shift tracking algorithm

通过对图2与图3的对比可以得出:图2中使用传统的 Mean-Shift 跟踪算法,在第172,174,176帧时,矩形跟踪框均偏离目标,即当目标快速运动时,经典的 Mean-Shift 算法不能准确地跟踪图像;而图3中,各帧图像的矩形跟踪框均未偏离目标,即使用改进的 Mean-Shift 跟踪算法,由于其引进了加权直方图进行跟踪,因而矩形跟踪框始终跟随着目标,最终实现了对目标准确而稳定的跟踪。

为了探讨所提算法的跟踪性能,以2种算法对绿色小风扇视频实验在每秒处理帧数和平均迭代次数上的结果进行对比,如表1所示。

表1中的实验数据表明,改进的 Mean-Shift 跟踪算法虽然处理时间略有增加,但依然能满足实时性的要求,且迭代次数大大减少。

表1 两种算法性能对比结果

Table 1 The performance comparison of the two algorithms

算法名称	每秒处理帧数	平均迭代次数
经典 Mean-Shift 跟踪算法	20	33
改进 Mean-Shift 跟踪算法	7.25	4.8

使用经典的 Mean-Shift 跟踪算法与改进的基于目标中心距离加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法,分别对以绿色小风扇、彩色方格与红色水杯作为目标录制的3个视频进行处理,以矩形框完全偏离目标为跟踪失败的判断标准,得到2种算法的跟踪正确率,具体结果如表2所示。

表2 两种算法跟踪正确率结果对比

Table 2 The comparison of tracking accuracy of the two algorithms

算法名称	正确率/%		
	绿色小风扇	彩色方格	红色水杯
经典 Mean-Shift 跟踪算法	39	47	41
改进 Mean-Shift 跟踪算法	97	98	91

分析表2中3组实验的正确率数据,可得知经典的 Mean-Shift 跟踪算法的跟踪正确率均小于50%,而改进的 Mean-Shift 跟踪算法的跟踪成功率均在90%以上,远大于经典的 Mean-Shift 跟踪算法的。这一结果表明,本文所提出的基于背景加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法,不仅能够达到实时跟踪的要求,而且比经典的 Mean-Shift 跟踪算法具有更高的稳定性与更强的鲁棒性。

## 4 结语

本文提出了一种基于目标中心距离加权直方图的 Mean-Shift 跟踪算法,此算法可以实时、准确、稳定地对视频中的运动物体进行跟踪。与经典的 Mean-Shift 算法相比,所提算法在处理时间上略有增加,但依然能满足实时性的要求;且当目标快速运动时,改进算法仍然能准确地跟踪图像,跟踪成功率大大优于经典的跟踪算法的。

由于算法本身的收敛性,Mean-Shift 算法对于遮挡目标的跟踪并不具有鲁棒性,在目标速度发生改变或两帧目标模板重叠区域较小时,容易发生目标丢失,下一步的研究重点是如何保证目标在运动过程中的一致性和连贯性,改善对运动目标的跟踪效果,在目标发生冲突、部分遮挡的情况下,仍能实现有效的跟踪,提高系统的鲁棒性。

## 参考文献:

- [1] 曲巨宝,王淑娟,林宏基.利用 Camshift 算法实现运动目

- 标自动跟踪[J]. 湖南工业大学学报, 2010, 24(5): 58-63.
- Qu Jubao, Wang Shujuan, Lin Hongji. Using Camshift Algorithm to Track Moving Objects Automatically[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2010, 24(5): 58-63.
- [2] 肖习雨, 张昌凡, 龙永红. 基于视频的车辆违章监测方法[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(6): 20-23.
- Xiao Xiyu, Zhang Changfan, Long Yonghong. Video-Based Monitor Method of Vehicle Violation[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(6): 20-23.
- [3] 霍 阔, 李长云, 赵正伟, 等. 视频监控中基于颜色特征的运动目标匹配研究[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(3): 104-108.
- Huo Kuo, Li Changyun, Zhao Zhengwei, et al. Study on Moving Object Matching in Video Monitoring Based on Color Characteristics[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(3): 104-108.
- [4] 陈胜蓝, 龙永红, 赵序勇. 核窗宽自适应的均值偏移跟踪算法[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(2): 87-92.
- Chen Shenglan, Long Yonghong, Zhao Xuyong. Mean-Shift Tracking Algorithm Based on Adaptive Kernel Bandwidth[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(2): 87-92.
- [5] Cheng Y. Mean Shift, Mode Seeking Clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1995, 17: 790-799.
- [6] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects Using Mean Shift[C]//Proceedings Computer Vision and Pattern Recognition 2000 IEEE Conference. [S. l.]: IEEE, 2000: 142-149.
- [7] Yilmaz A, Shafique K, Shah M. Target Tracking in Airborne Forward Looking Infrared Imagery[J]. Image & Vision Computing, 2003, 21(7): 623-635.
- [8] Bradski G R. Computer Vision Face Tracking for Use in a Perceptual User Interface[J]. IEEE Trans Aerospace & Electronic Systems, 1998, q2: 214-219.
- [9] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-Based Object Tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2003, 40(5): 564-575.
- [10] 于纪征, 孔晓东, 曾贵华. 基于均值漂移和边缘检测的轮廓跟踪算法[J]. 计算机仿真, 2008, 25(6): 224-227.
- Yu Jizheng, Kong Xiaodong, Zeng Guihua. A Contour Tracking Algorithm Based on Mean Shift and Edge Detection [J]. Computer Simulation, 2008, 25(6): 224-227.
- [11] 马 丽, 常发亮, 乔谊正, 等. 基于改进的均值漂移算法的目标跟踪[J]. 计算机工程, 2007, 32(24): 175-177.
- Ma Li, Chang Faliang, Qiao Yizheng, et al. Target Tracking Based on Improved Mean Shift Algorithm[J]. Computer Engineering, 2007, 32(24): 175-177.
- [12] 张新君. 基于颜色特征的图象检索技术研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2005.
- Zhang Xinjun. Research on Color Feature Based Image Retrieval[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2005.
- [13] 杨雪松, 蔡碧野, 张建明, 等. 基于 HSV 颜色特征和轮廓面积的救生衣检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 30(18): 188-192.
- Yang Xuesong, Cai Biye, Zhang Jianming, et al. A Life Jacket Detection Algorithm Based on HSV Color Feature and Contour Area[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 30(18): 188-192.
- [14] 邵祥军, 朱文球. 基于边缘细化的图像插值方法[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(6): 47-50.
- Shao Xiangjun, Zhu Wenqiu. An Image Interpolation Method Based on Thinned Edge[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(6): 47-50.
- [15] 胡明昊, 任明武, 杨静宇. 一种基于直方图模式的运动目标实时跟踪算法[J]. 计算机工程与应用, 2004(3): 71-74.
- Hu Minghao, Ren Mingwu, Yang Jingyu. A Real-Time Moving Object Tracking Algorithm Based on Histogram Model[J]. Computer Engineering and Applications, 2004 (3): 71-74.

(责任编辑: 廖友媛)