

# 万向椭圆描述的 Mean-Shift 算法

张华伟<sup>1</sup>, 阮进勇<sup>1,2</sup>, 丁广太<sup>1</sup>

(1. 上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200444;

2. 河内百科学大学 计算机系, 越南 河内 112525)

**摘要:**传统的 Mean-Shift 算法在目标跟踪过程中, 由于跟踪窗口尺度固定而不能很好适应目标的尺度变化, 当目标尺度减小时, 目标区域所提取的特征向量包含过多的背景干扰信息, 目标尺度增大会使跟踪窗口偏离目标的质心, 降低跟踪的鲁棒性。为此文中采用万向椭圆的方式对目标区域进行描述, 减少背景干扰信息以突出目标模型, 提取椭圆区域的加权颜色直方图为目标特征, 采用尺度加减法自适应调整椭圆区域的大小, 并在跟踪过程中根据运动轨迹动态调整椭圆方向, 以增强跟踪的准确性。实验结果表明万向椭圆能够更好地描述跟踪目标的尺度和方向, 在目标尺度变化比较平稳的情况下, 尺度加减法能自适应调整跟踪窗口的尺度, 可以取得良好的跟踪效果。

**关键词:** Mean-Shift; 万向椭圆; 特征提取; 视频跟踪

**中图分类号:** TP751.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2015)01-0011-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.01.003

## Mean-Shift Algorithm Described by Irregular Ellipse

ZHANG Hua-wei<sup>1</sup>, NGUYEN Tien-dung<sup>1,2</sup>, DING Guang-tai<sup>1</sup>

(1. College of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. Computer Department, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi 112525, Vietnam)

**Abstract:** During the process of the traditional Mean-Shift algorithm for object tracking, the size of tracking window is fixed and cannot adapt to the change of target scale. When the target scale decreases, the extracted feature vectors of the target region contains too much background interference information, the increasing of target scale deviates tracking window from the target will reduce the robust of tracking. So in this paper, use irregular ellipses to describe the outline of target instead of rectangle, reducing the background interference information in order to highlight the target model, extracting weighted color histogram for the target characteristics of elliptical area. It uses the addition and subtraction for adapting to the size of elliptical areas and in the process of tracking based on trajectory dynamic adjusts to elliptical direction to enhance the tracking accuracy. The experimental results show that the universal elliptic can better describe the target tracking scale and direction, in the case that target scale variations are stable, addition and subtraction can adaptively adjust to the tracking window scale, can achieve good tracking effects.

**Key words:** Mean-Shift; irregular ellipse; feature extraction; video tracking

## 0 引言

运动目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要课题, 广泛应用于视频监控、机器人视觉、医疗诊断和军事制导等方面<sup>[1-2]</sup>。Mean-Shift 算法具有原理简单、鲁棒性好及无参等特点, 受到了视频跟踪领域研究人员的广泛关注。

Mean-Shift 算法由 Fukunaga 等<sup>[3]</sup>在 1975 年提出, Cheng<sup>[4]</sup>经过深入研究并在 1995 年将它扩展, 成功推广到计算机视觉领域中, Comaniciu 等<sup>[5]</sup>将 Mean-

Shift 算法引入目标跟踪领域, 以彩色直方图作为特征来实现目标的识别与定位, 极大减少了算法的计算量。之后, Mean-Shift 的改进算法不断产生。如 Collins<sup>[6]</sup>用 Lindeberg 理论将 blob 特征与不同尺度的高斯滤波做卷积, 对核函数尺度进行自适应调整; 杨辉等<sup>[7]</sup>提出融合 Harris 角点和 Surf 算法的改进型 Mean-Shift 算法, 可解决背景复杂以及帧速过快时的跟踪失败问题; 王文江等<sup>[8]</sup>提出了融合 Mean-Shift 和 Kalman 预测方法的核函数带宽自适应跟踪算法; 姚放吾等<sup>[9]</sup>提出了

收稿日期: 2014-01-18

修回日期: 2014-04-23

网络出版时间: 2014-11-17

基金项目: 国家“十二五”规划课题资助项目(201105033)

作者简介: 张华伟(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为模式识别与计算机视觉; 丁广太, 博士, 副教授, 研究方向为图像处理与信息安全。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141117.2205.012.html>

一种基于质心算法的 MeanShift 跟踪模型算法,初始位置采用运动目标质心,并在质心位置处采用 MeanShift 迭代,以巴氏系数判断当前目标和参考目标的匹配程度进行跟踪;袁霄等<sup>[10]</sup>用目标区域分块的改进方法,减少人体区域分块数目,并对每个分块进行一定系数的加权,采用 Mean-Shift 算法进行运动人体跟踪。

在实际应用中准确跟踪通常十分困难,因为在跟踪过程中目标存在旋转、尺度缩放、角度变化以及目标遮挡等问题,找到一种合适的特征来适应所有情况几乎不可能,而特征描述直接决定跟踪结果的鲁棒性,为此文中用万向椭圆描述目标以解决由旋转和角度变化带来的问题,同时减少了特征提取背景信息的干扰,用自适应尺度核函数解决目标尺度缩放问题。实验结果表明,该方法可以取得良好的跟踪效果。

## 1 Mean-Shift 算法分析

在文献[11]中,核函数用半径为  $h$  的圆描述,越靠近圆心的地方权值越大,目标特征的提取在一个半径为  $h$  的圆内进行。由于大部分目标都是形状不规则的,用圆并不能很好地表示目标的区域轮廓,所以在实际操作中都用矩形框和椭圆代替,这样能更完整提取目标信息且减少背景干扰。

算法设计时若使用椭圆代替圆,一般选定目标的椭圆长短轴都是基于水平和垂直方向。此时,若目标形状为非垂直或水平,就必须用一个更大的椭圆才能将目标包含,同时也包含了更多的背景信息,影响目标特征的提取从而降低跟踪结果的鲁棒性。文中用万向椭圆<sup>[11]</sup>对目标区域进行选定,可以有效减少背景信息的干扰。如图1(a),在方框选择的目标区域内,椭圆为对应的核函数尺度,靠近左上角和右下角的区域包含了更多的背景信息,在经过核函数过滤后,又丢失了一部分(右上角)目标信息;图1(b)用万向椭圆选择目标区域,更好地适应了目标的轮廓,其中椭圆即是目标区域,也是核函数尺度,这样更完整地提取了目标区域的特征。



(a)方框选择目标区域

(b)万向椭圆选择目标区域

图1 目标区域选择

## 2 万向椭圆描述的 Mean-Shift 算法

文中用万向椭圆<sup>[12-13]</sup>选定目标区域,提取目标的加权直方图,用 Mean-Shift 算法对目标中心位置进行

迭代搜索,达到跟踪效果,并运用核函数尺度自适应算法,对跟踪窗口大小进行动态调整。

### 2.1 跟踪过程关键环节

#### 2.1.1 初始帧目标选择

由于目标的形状不规则以及方向并不处在水平或垂直方向,因此通过手动标记目标的长短轴,再计算出目标的方向角,做出目标外接椭圆。

#### 2.1.2 目标特征提取

目标特征模型用加权颜色直方图表示。设椭圆目标区域为  $E$ ,中心坐标为  $(x_0, y_0)$ ,像素点  $(x_i, y_j)$  属于  $E$ ,则目标区域的直方图特征<sup>[11]</sup>表示为:

$$Q_u = C \sum_{(x_i, y_j) \in E} k \left( \left\| \frac{(x_i, y_j) - (x_0, y_0)}{h} \right\|^2 \right) \cdot \sigma[b(x_i, y_j) - u]$$

其中,  $k(\|x\|^2)$  表示核函数;  $h$  为核函数带宽;  $\sigma[b(x_i, y_j) - u]$  表示点  $(x_i, y_j)$  的像素值属于颜色直方图的第  $u$  个分量;  $C$  为直方图归一化系数:

$$C = \frac{1}{\sum_{(x_i, y_j) \in E} k \left( \left\| \frac{(x_i, y_j) - (x_0, y_0)}{h} \right\|^2 \right)}$$

使得  $\sum_{u=1}^m Q_u = 1$ , 其中  $m$  表示直方图特征的维数。

#### 2.1.3 中心位置估计

设原始目标的特征向量为  $\hat{q}$ , 候选目标特征向量为  $\hat{p}$ , 用 Bhattacharyya 系数<sup>[11]</sup>表示  $\hat{q}$  和  $\hat{p}$  之间的相似度。记为:

$$\rho \equiv \rho(\hat{p}, \hat{q}) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u q_u} \quad (1)$$

系数越大,匹配程度越大,则候选目标与原始目标越相似。将相似度计算公式(1)按泰勒公式展开:

$$\rho(\hat{p}_u, \hat{q}_u) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u q_u} + \frac{C}{2} \sum_{(x_i, y_j) \in E} w(i, j) \cdot k \left( \left\| \frac{(x_i, y_j) - (x_0, y_0)}{h} \right\|^2 \right) \quad (2)$$

$$\text{其中, } w(i, j) = \sum_{u=m}^m \sqrt{\frac{q_u}{p_u}} \sigma[b(x_i, y_j) - u]。$$

要使相似度取得最大值,由式(2)可知第一项与区域的位置是独立的,所以要第二项取最大值,仔细观察可知第二项是一个密度估计  $w$  与当前帧的核函数  $k(\|x\|^2)$  相乘,问题就转化为了用 Mean-Shift 过程求解此密度估计  $w$  的最大值。

$w$  为权值矩阵,可以通过计算权值矩阵的质心得候选目标区域中心位置。质心通过计算  $w$  矩阵的零阶矩和一阶矩得到。 $w(i, j)$  为像素在  $(i, j)$  处的权值,则有零阶矩  $Z_{00} = \sum_i \sum_j w(i, j)$ , 一阶矩  $Z_{10} =$

$$\sum_i \sum_j i \cdot w(i, j), Z_{01} = \sum_i \sum_j j \cdot w(i, j), \text{质心位置 } x' = \frac{Z_{10}}{Z_{00}}, y' = \frac{Z_{01}}{Z_{00}}.$$

#### 2.1.4 角度偏移计算

随着目标的运动,观测到目标方向和尺度都会发生变化。如图2中的(e),观测到的目标整体更趋于垂直方向,而(g)则更趋于水平方向,同时由于距离远

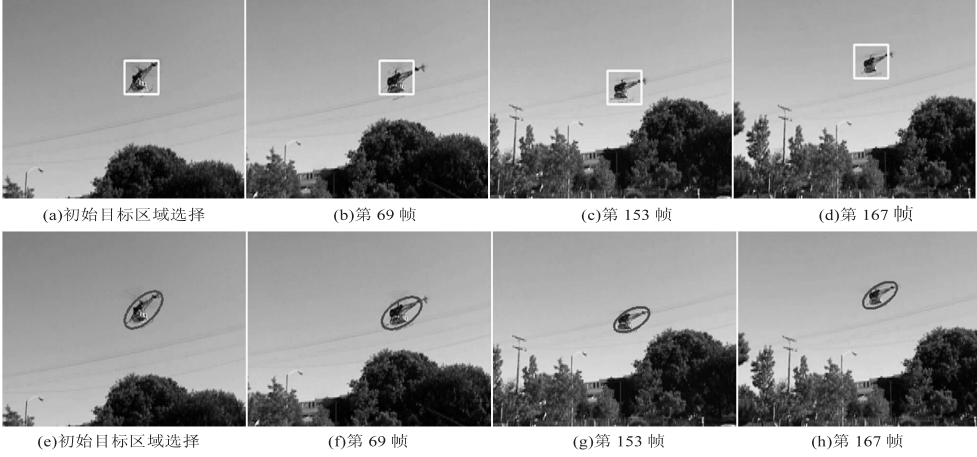


图2 普通方法和文中方法实验结果对比

$$\alpha = \frac{dx^2 + dy^2}{(dx + dy)^2}$$

其中,  $dx, dy$  分别为目标中心在水平和垂直方向上的偏移量。

最后分别计算候选目标方向角在  $(\theta + \alpha \cdot 15^\circ, \theta, \theta - \alpha \cdot 15^\circ)$  三种情况下的目标加权直方图,与原始目标加权直方图进行匹配,取相似度最高时对应的方向角为偏移之后的方向角。

#### 2.1.5 核函数尺度选择

核函数尺度是影响 Mean-Shift 跟踪准确性的关键因素之一。尺度增减自适应算法<sup>[11]</sup>因计算量小被多次引用,但 Collins<sup>[6]</sup>指出这种算法在目标尺度缩小时会引起小尺度游荡问题,而在目标尺度增大时易引起跟踪滞后问题。文中应用文献[14]中的尺度自适应算法对增减自适应算法进行改进,用系数  $\beta$  放宽尺度增大的判别条件,苛刻尺度缩小的判别条件来解决小尺度游荡问题,同时用可变滤波参数  $\gamma$  在目标尺度剧烈变化时对变化程度进行平滑,抑制跟踪滞后问题。

#### 2.2 算法流程

跟踪过程可细分为 11 个步骤:

- 步骤 1: 读取初始帧,框定目标范围  $E$ ;
- 步骤 2: 计算范围  $E$  内的目标加权直方图  $Q$ ;
- 步骤 3: 读取下一帧;
- 步骤 4: 计算范围  $E'$  内的候选目标加权直方图  $P$ ;
- 步骤 5: 根据直方图  $Q$  和  $P$  计算权值矩阵  $w$ ;
- 步骤 6: 记范围  $E'$  的中心位置为  $x_0$ , 计算范围  $E'$  的

去,目标尺度也变得更小。

假设当上一帧目标的方向角(长轴与水平方向的夹角)为  $\theta$ ,当前帧目标方向角为  $\theta'$ ,若目标运动速度不是很快,则角度偏转往往在一个很小的范围内,文中取  $\pm 15^\circ$ 。即  $\theta' = \theta \pm \alpha \cdot 15^\circ$ ,  $\alpha$  为取值 0 到 1 之间的系数。其中  $\alpha$  的取值与目标中心的偏移量有关,若目标中心偏移越大,则  $\alpha$  取值越大,相反则越小。

质心位置  $x_c$ ;

步骤 7: 判断  $|x_0 - x_c| < \varepsilon$ , 如果为 Y, 则跳往步骤 8, 若为 N, 则移动搜索框  $E'$ , 使中心位置和质心位置重合, 跳往步骤 4;

步骤 8: 计算目标的方向角  $\theta$ ;

步骤 9: 选择核函数尺度  $h$ ;

步骤 10: 以新的中心位置  $x_0$ , 目标方向角  $\theta$ , 核函数尺度  $h$ , 形成新的搜索范围  $E'$ , 跳往步骤 3;

步骤 11: 结束。

### 3 实验结果与分析

实验中采用 Epanechnikov 核函数<sup>[11]</sup>, 特征描述用 RGB 空间  $16 \times 16 \times 16$  bin 的归一化直方图, 每帧图像的 Mean-Shift 最大迭代次数为 10 次。

实验一采用室外环境下遥控直升机的飞行场景视频, 包含 214 帧  $320 \times 240$  大小的图像, 如图 2 中, (a) ~ (d) 分别是序列中的初始帧、第 69 帧、第 153 帧和第 167 帧采用普通 Mean-Shift 算法的跟踪结果, (e) ~ (h) 是对应帧用文中方法的实验结果。对比 (b) 和 (f) 可以看出文中采用万向椭圆描述目标区域, 可以取得更加准确的跟踪结果; 对比 (c) 和 (g), 由于目标远去, 观测到目标尺度变小, 文中加入了核函数尺度自适应算法, 可使跟踪窗口随目标尺寸动态调整。图 3 为采用核函数尺度自适应策略后, 跟踪过程中的目标尺度变化结果; 图 4 为万向椭圆的角度变化结果, 可以看出计算出的目标尺度和角度与真实的目标尺度和角度具



有较高的一致性。

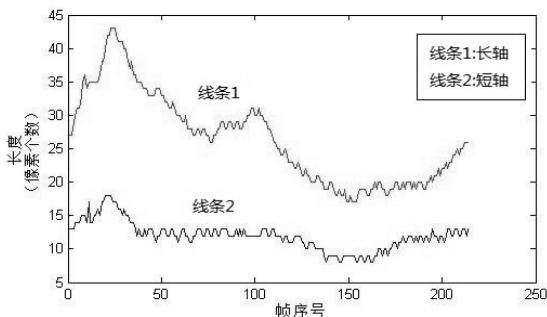


图3 跟踪过程中的尺度变化

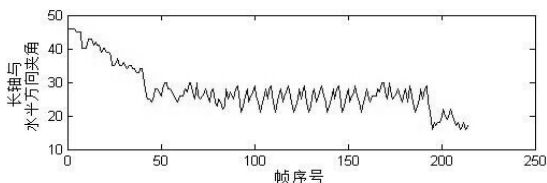


图4 跟踪过程中的角度变化

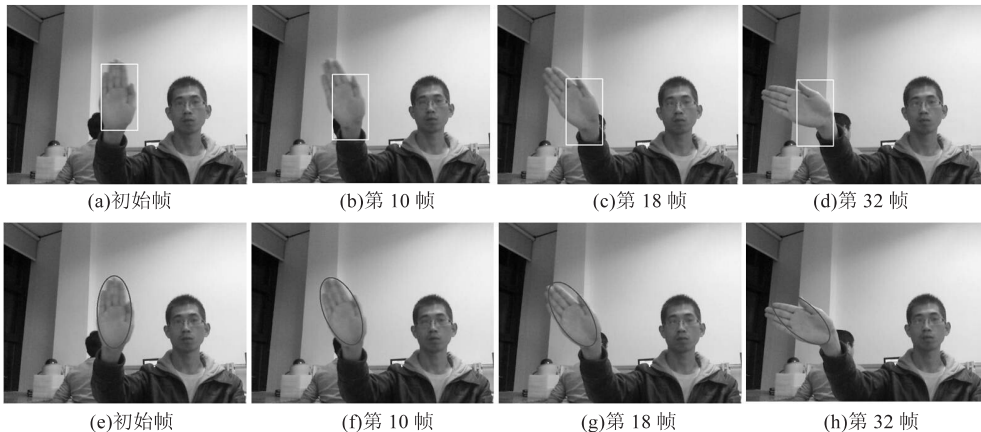


图5 手势跟踪结果对比

实验二采用手势跟踪视频,如图5(a)~(d)为普通 Mean-Shift 算法的跟踪结果,当手势由纵向变为横向时,普通 Mean-Shift 算法由于无法调整跟踪框角度而失去准确性,而(e)~(h)中用万向椭圆描述则很好地适应了这一角度变化。

## 4 结束语

文中在分析 Mean-Shift 算法的基础上,针对其在目标特征提取时用方框和椭圆存在的缺陷,提出了一种用万向椭圆描述目标区域的 Mean-Shift 跟踪方法。该算法大大减少了目标提取特征时背景信息的干扰,提高特征向量的描述能力,增强跟踪迭代的准确性,同时引入核函数尺度自适应算法解决由于目标尺度变化引起的小尺度游荡问题和跟踪滞后问题。实验结果表明,与传统的 Mean-Shift 算法相比,该方法可取得更为可靠和鲁棒的跟踪效果。


## 参考文献:

- [1] 王超. 基于彩色视频图像的目标跟踪研究[D]. 杭州:浙江大学, 2013.
- [2] 田莘. 基于 MeanShift 算法的目标跟踪问题研究[D]. 西安:西安科技大学, 2010.
- [3] Fukunage K, Hostetler L. The estimation of the gradient of a density function with application in pattern recognition[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [4] Cheng Yizong. Mean Shift, mode seeking, and clustering[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [5] Comaniciu D, Meer P. Mean Shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [6] Collins R. Mean-Shift blob tracking through scale space[C]//Proceedings of IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Madison, Wisconsin, USA: IEEE, 2003: 234-240.
- [7] 杨辉, 刘军, 阮松. 基于 Mean Shift 算法视频跟踪研究[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(6): 2062-2066.
- [8] 王文江, 黄山, 张洪斌. 一种基于 Mean Shift 和 Kalman 预测的带宽自适应跟踪算法[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(5): 87-92.
- [9] 姚放吾, 许辰铭. 基于目标质心的 Meanshift 跟踪算法[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(6): 104-106.
- [10] 袁霄, 王丽萍. 基于 MeanShift 算法的运动人体跟踪[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(4): 46-49.
- [11] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [12] 夏瑜, 吴小俊, 王洪元. 双环 Mean Shift 视频跟踪算法[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26(1): 20-27.
- [13] Gao Jianpo, Wu Zhenyang, Wang Yujian. Face tracking algorithm based on Mean Shift and ellipse fitting[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 4233: 270-277.
- [14] 左军毅, 梁彦, 赵春晖, 等. Mean Shift 跟踪算法中尺度自适应策略的研究[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(9): 1750-1757.

# 万向椭圆描述的Mean-Shift算法

作者：[张华伟](#), [阮进勇](#), [丁广太](#), [ZHANG Hua-wei](#), [NGUYEN Tien-dung](#), [DING Guang-tai](#)

作者单位：[张华伟, 丁广太, ZHANG Hua-wei, DING Guang-tai \(上海大学 计算机工程与科学学院, 上海, 200444\)](#), [阮进勇, NGUYEN Tien-dung \(上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200444; 河内百科大学 计算机系, 越南 河内 112525\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#) 

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期): [2015\(1\)](#)

引用本文格式: [张华伟](#). [阮进勇](#). [丁广太](#). [ZHANG Hua-wei](#). [NGUYEN Tien-dung](#). [DING Guang-tai](#) [万向椭圆描述的Mean-Shift算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(1)