

# 基于 Camshift 和 Kalman 滤波的自动跟踪算法

梁娟, 项俊, 侯建华

(中南民族大学 电子信息工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 针对传统的 Camshift 算法在跟踪时需要手动定位目标, 在颜色干扰、遮挡等复杂背景中容易跟丢目标的问题, 提出了一种基于 Camshift 和 Kalman 滤波的自动跟踪算法。首先利用帧间差分法和 Canny 边缘检测法分割出运动目标的完整区域, 然后用提取出的目标区域初始化 Camshift 算法的初始搜索窗口, 从而实现了目标的自动跟踪。当背景中存在相似颜色干扰或者目标被严重遮挡时, 采用 Kalman 滤波与 Camshift 算法相结合的改进算法进行跟踪。实验结果表明, 本文改进算法在目标被严重遮挡、颜色干扰等情况下仍能有效、稳健地跟踪。

**关键词:** 目标跟踪; Camshift 算法; Kalman 滤波; 帧间差分法; Canny 边缘检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)24-0028-04

## An effective automatic tracking algorithm based on Camshift and Kalman filter

Liang Juan, Xiang Jun, Hou Jianhua

(College of Electronic and Information, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** An automatic tracking algorithm based on Camshift and Kalman filter is proposed in this paper to deal with the problems in traditional Camshift algorithm, such as artificial orientation and tracking failure under color interference or occlusion. The inter-frame difference and canny edge detection are combined to segment perfect moving object region accurately. Then, the initial search window for Camshift tracking algorithm is initialized by the extraction of the moving object and the moving object automatic tracking is realized. With regard to tracking under color interference or severe occlusion, an improved algorithm combined Kalman filter and Camshift is used to track the object. The experiment results demonstrate that the proposed algorithm can track the target object accurately and has better robustness to color noises and occlusion.

**Key words:** object tracking; Camshift algorithm; Kalman filter; inter-frame difference; Canny edge detection

视频序列中运动目标的跟踪是计算机视觉领域的一个重要的研究课题, 它已广泛应用于电子监控系统、智能交通管理、医学、军事等多个领域。近年来, 国内外许多学者对该领域进行了大量的研究, 并且提出了许多不同的跟踪方法, 如基于模型的跟踪方法<sup>[1]</sup>、基于特征的跟踪方法<sup>[2]</sup>、基于区域的跟踪方法<sup>[3]</sup>和基于轮廓的跟踪方法<sup>[4]</sup>等。Camshift(Continuously Adaptive Mean Shift)算法是一种基于颜色特征匹配的跟踪方法, 该算法原理简单, 具有实时性、稳定性和较强的鲁棒性, 在简单背景中有较好的跟踪效果。但传统的 Camshift 算法是一种半自动的跟踪算法, 目标的初始大小和位置需要手动选择, 而且在背景中存在相似颜色干扰、遮挡等情况下容易跟踪失败。

本文针对 Camshift 算法的这些不足, 提出了一种基

于 Camshift 和 Kalman 滤波的自动跟踪算法, 采用帧间差分法和 Canny 边缘检测算法自动定位运动目标, 当遇到遮挡和颜色干扰时, 引入 Kalman 滤波器对运动目标的位置进行预测。实验验证了该改进算法对遮挡和颜色干扰的鲁棒性和有效性。

### 1 运动目标检测

视频序列中的运动目标检测是目标跟踪和目标识别等高级处理的基础。本文结合区域检测和边缘检测的方法准确地分割和定位出运动目标。首先, 利用帧间差分法得到目标的差分图像, 对差分图像进行高斯滤波、二值化处理后采用 Canny 边缘检测算法得到目标的边缘轮廓信息, 再进一步提取出目标的运动对象面, 实现目标标定。在跟踪过程中, 用提取出的运动目标初始化 Camshift 跟踪算法的初始搜索窗口的大小, 从而实现自

动跟踪。

### 1.1 帧间差分法

帧间差分法是最简单的背景估计方法,它取上一帧视频图像作为当前帧的背景模型,在相邻两帧间根据基于像素的差分并且阈值化来提取出图像中的运动区域。该算法原理简单、实时性强,常常用于跟踪的前期处理过程。该算法首先通过计算第  $k$  帧图像和第  $k-1$  帧图像的像素差得到差分后的图像  $D_k$ ; 然后设置合适的二值化阈值  $T$  对  $D_k$  进行二值化处理,得到二值化后的差分图像  $R_k(x,y)$ ; 最后对  $R_k(x,y)$  进行形态学滤波及连通性分析,得到目标运动区域。其中:

$$D_k(x,y)=|f_k(x,y)-f_{k-1}(x,y)| \quad (1)$$

$$R_k(x,y)=\begin{cases} 1 & (D_k(x,y)\geq T) \\ 0 & (D_k(x,y)<T) \end{cases} \quad (2)$$

### 1.2 Canny 边缘检测算法

Canny 边缘检测算子是 Canny 于 1986 年提出的一种基于最优化算法的边缘检测算子,该算子具有高精度定位的特点。Canny 提出三个严格的检测标准评价边缘检测的质量,分别是:高信噪比准则、高定位精度准则和单一边缘响应准则。该算法的实现过程如下:

- (1)用高斯滤波器平滑图像;
- (2)用一阶偏导的有限差分计算梯度的幅值和方向;
- (3)对梯度幅值进行非极大值抑制;
- (4)用双阈值算法检测和连接边缘。

## 2 运动目标跟踪

近年来, Camshift 跟踪算法凭借其实时性和鲁棒性的特点被大量关注。该算法利用目标的颜色特征模型实现跟踪,由于颜色的相对稳定性,该算法可以解决部分遮挡及目标形变问题。在简单背景下,该算法有较好的跟踪效果,然而,在目标被严重遮挡及存在大面积相似颜色干扰等复杂背景下,该算法会导致跟踪失败。本文提出了一种基于 Camshift 和 Kalman 滤波的改进的跟踪算法来解决这些问题。

### 2.1 Camshift 算法

Camshift 算法即连续自适应均值漂移算法,它是 Meanshift 算法的扩展。该算法根据目标的颜色概率分布信息实现运动目标跟踪。Camshift 算法的处理过程由反向投影、Meanshift 算法和 Camshift 算法三部分组成。

#### 2.1.1 反向投影

首先将图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间。HSV 空间能精确地反映一些灰度信息和色彩信息,可以提高算法的稳定性。由于 HSV 颜色空间中的 H 分量能直观地反映物体颜色信息,且与亮度独立,因此选择图像的 H 分量统计目标的颜色直方图,得到颜色概率查找表。最后将图像中每个像素值用其颜色出现的概率替换,并将其得到的结果归一化到  $[0,255]$  之间,从而得到颜色概率分布图。色彩投影的流程如图 1 所示。原图图像、H 分量

的颜色直方图及对应的概率分布图如图 2 所示。

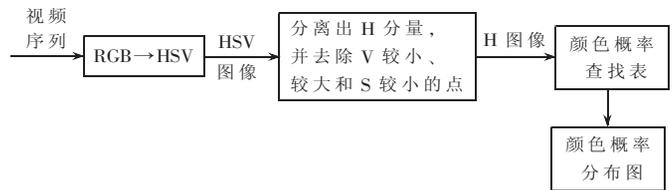


图 1 色彩投影流程图

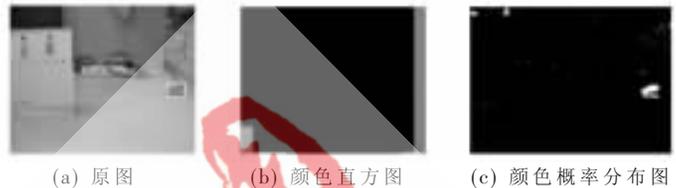


图 2 原图、颜色直方图及对应的颜色概率分布图

#### 2.1.2 Meanshift 算法

Meanshift 算法<sup>[5]</sup>是一种非参数密度梯度估计算法,其实质是通过反复迭代搜索特征空间中样本点最密集的区域,搜索点沿着样本点密度增加的方向“漂移”到局部密度极大点,从而达到跟踪的目的。该算法因其原理简单、计算量小、实时性强被广泛应用于图像分割和跟踪等领域。该算法的实现过程如下:

- (1)设置搜索窗的初始大小和位置;
- (2)计算搜索窗的质心;
- (3)将该搜索窗的中心移至质心处;
- (4)重复步骤(2)和步骤(3),直至收敛或者搜索窗质心移动的距离小于事先设定的阈值。

设  $I(x,y)$  是概率分布图中位于  $(x,y)$  处的像素值,  $x,y$  在整个搜索窗范围内取值。则有:

$$\text{零阶矩: } M_{00} = \sum_x \sum_y I(x,y) \quad (3)$$

$$\text{一阶矩: } M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x,y) \quad M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x,y) \quad (4)$$

$$\text{搜索窗的质心位置: } (x_c, y_c) = \left( \frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right) \quad (5)$$

$$\text{搜索窗的大小: } S = 2\sqrt{M_{00}/256} \quad (6)$$

#### 2.1.3 Camshift 算法

Camshift 算法<sup>[6-7]</sup>是对视频序列中的所有帧作 Meanshift 运算,并且将得到的搜索窗的大小和中心作为下一帧 meanshift 算法搜索窗的初始值。如此迭代下去,实现对目标的跟踪。算法的具体流程如图 3 所示。

### 2.2 改进的 Camshift 算法

传统的 Camshift 算法原理简单、计算量小、实时性强,能够有效地解决目标形变及部分遮挡等问题。然而,该算法在跟踪时需要手动选择初始搜索窗口的大小,是一种半自动的跟踪算法;同时,由于该算法在跟踪过程中没有利用目标的方向、速度等运动信息,当背景中存在大面积相似颜色干扰或者目标被严重遮挡时,该算法不能准确地跟踪目标,甚至导致跟踪失败。本文提出一

《微型机与应用》2011 年 第 30 卷 第 24 期

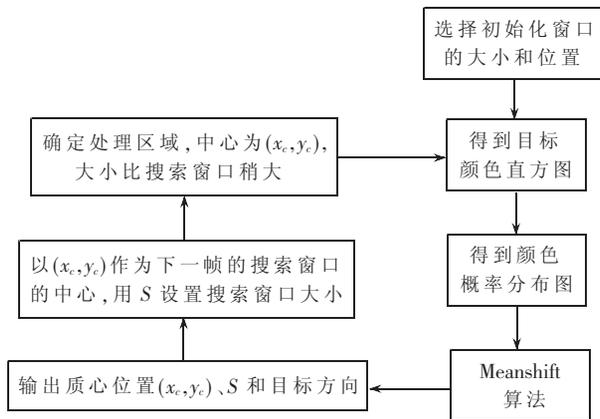


图3 Camshift 算法流程图

种改进算法克服以上问题。首先,结合帧间差分法和 Canny 边缘检测算法,准确地提取出运动目标,根据提取出的运动目标初始化 Camshift 跟踪算法的初始搜索窗口,从而实现了自动跟踪。为了解决颜色干扰和严重遮挡的问题,本文引入 Kalman 滤波器,用 Kalman 滤波器预测 Camshift 算法中第  $K(K>2)$  帧搜索窗口的中心位置。具体的步骤为:先初始化 Kalman 滤波器,当帧数  $K>2$  时,用 Kalman 滤波器预测 Camshift 算法的搜索窗口位置;用 Camshift 算法计算目标的最优位置和大小;判断背景中是否存在颜色干扰或者目标被严重遮挡,若无,则直接用 Camshift 算法计算出的目标位置作为观测值去更新 Kalman 滤波器;若有,则搜索窗口的大小会自动变大或变小,此时用 Camshift 算法计算出的最优位置是不准确的,如果用该值作为观测值去更新 Kalman 滤波器, Kalman 滤波器将不能有效准确地估计下一帧的目标位置,最终会导致跟踪丢失。此时,用 Kalman 滤波器的预测值代替 Camshift 算法计算出的目标位置作为观测值去更新 Kalman 滤波器。本文中,用  $\alpha$  判断是否出现颜色干扰,用滤波器残差  $r(k)$  和遮挡率  $\beta$  判断目标是否被严重遮挡。 $\alpha$ 、 $r(k)$ 、 $\beta$  的计算公式如下:

$$\alpha = \text{Rect\_current} / \text{Rect\_last} \quad (7)$$

$$\beta = \text{Rect\_current} / \text{Rect\_origin} \quad (8)$$

$$r(k) = \sqrt{(x(k) - x'(k))^2 + (y(k) - y'(k))^2} \quad (9)$$

其中,  $\text{Rect\_current}$  为 Camshift 算法计算得到的目标区域的大小,  $\text{Rect\_last}$  为上一帧图像目标区域的大小,  $\text{Rect\_origin}$  为初始搜索窗口的大小,  $x(k)$ 、 $y(k)$  表示目标位置的观测值,  $x'(k)$ 、 $y'(k)$  表示目标位置的预测值。在本文中,当  $\alpha > 2$  时,认为背景中存在大面积相似颜色干扰;当  $r(k) > 10$  且  $\beta < 0.3$  时,则认为目标被严重遮挡。该改进算法流程图如图 4 所示。

### 3 实验结果及分析

为了验证算法的有效性,本文在 Pentium(R) 4, 3.00GHz CPU, 1 GB 内存, Windows XP 操作系统的计算机上使用 VS2005 结合 OPENCV 函数库来编写程序。每帧图像的大小为  $320 \times 240$ 。

《微型机与应用》2011 年 第 30 卷 第 24 期

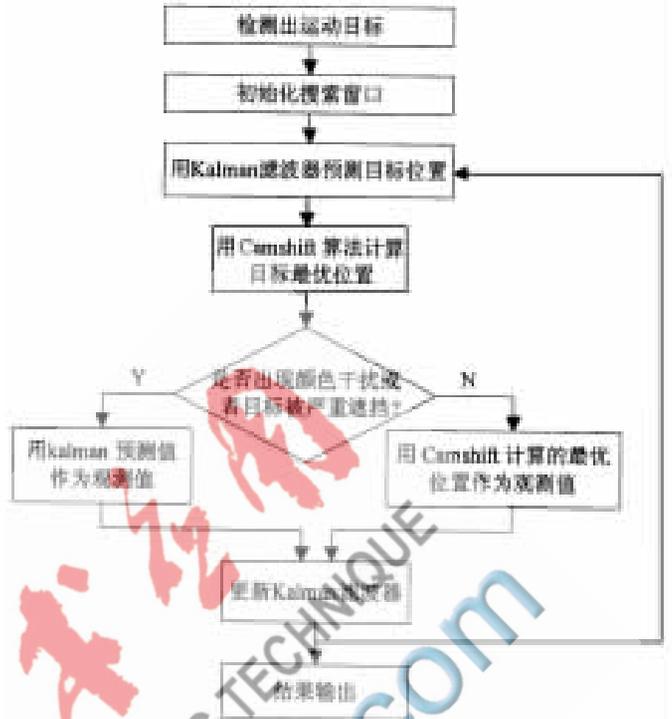


图4 改进的 Camshift 算法流程图

### 3.1 运动目标检测与定位实验结果

图 5 显示了运动目标的提取结果,其中,图 5(a)是原始图像序列中的一帧;图 5(b)是经过帧间差分法、高斯滤波、二值化处理后结合 Canny 边缘检测算法得到的运动目标的边缘图像;图 5(c)是提取出目标的运动对象面;图 5(d)是运动目标的标定结果。从实验结果可以看出,帧间差分法结合 Canny 边缘检测的方法可以准确地提取出运动目标。

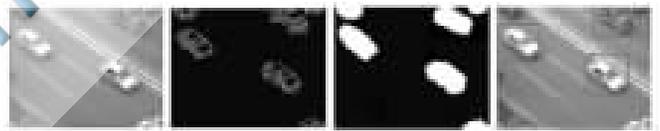
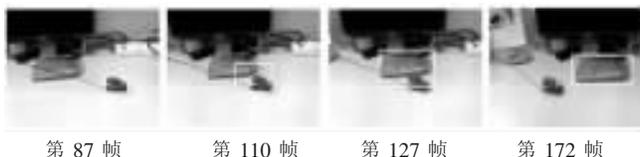


图5 运动目标提取结果

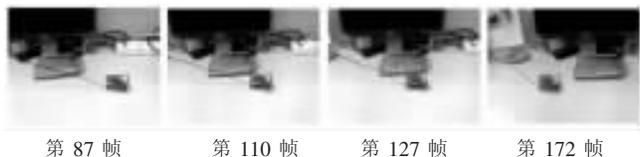
### 3.2 改进的 Camshift 算法实验结果

为了验证改进的 Camshift 算法的有效性,本文将传统 Camshift 算法的跟踪效果与改进的 Camshift 算法跟踪效果进行比较,比较结果如图 6 和图 7 所示。

图 6 为相似颜色干扰实验,视频序列的背景中有一个红色袋子与运动目标的颜色很相似。其中,图 6(a)为传统 Camshift 算法的实验结果。从第 110 帧~第 127 帧,目标越来越靠近红色袋子,目标区域也逐渐扩大,将袋子误认为是目标导致目标定位不准确。第 172 帧目标离开袋子时,跟踪框仍停留在袋子上,最终导致跟踪失败。图 6(b)为改进 Camshift 算法的实验结果。实验结果表明,改进的 Camshift 算法在背景中存在相似颜色干扰时仍能有效地跟踪目标。



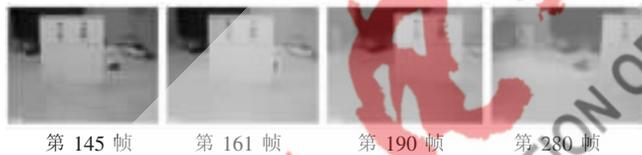
(a) 传统 Camshift 算法颜色干扰实验结果



(b) 改进 Camshift 算法颜色干扰实验结果

图 6 背景中出现相似颜色干扰时传统 Camshift 算法与本文改进 Camshift 算法对比结果

图 7 为遮挡实验,其中图 7(a)为传统 Camshift 算法实验结果,图 7(b)为改进的 Camshift 算法的实验结果。在图 7(a)中的第 161 帧时,目标被部分遮挡,Camshift 算法通过缩小目标区域的大小以消除目标被遮挡部分的影响,实现对目标的跟踪。在第 190 帧时,目标被完全遮挡,颜色信息完全消失,搜索窗口收缩到最小值并停留在一个局部小区域内。第 280 帧当目标再次出现时跟踪丢失。在图 6(b)中的第 190 帧时,目标被严重遮挡,此时用本文改进算法进行跟踪并设置搜索窗口的大小为初始搜索窗的大小。第 280 帧时,目标重新出现,搜索窗口与目标联接,开始新的跟踪。实验结果表明,改进的



(a) 传统 Camshift 算法严重遮挡实验对比结果



(b) 改进 Camshift 算法严重遮挡实验结果

图 7 目标被严重遮挡时传统 Camshift 算法与本文改进 Camshift 算法实验对比结果

Camshift 算法对遮挡有较好的鲁棒性。

本文提出了一种基于 Kalman 滤波与 Camshift 算法的改进的自动跟踪算法。实验表明,本文所提出的改进算法可以实时、准确、自动地跟踪目标,并且对于干扰和遮挡有较好的鲁棒性。然而,本文是在背景静止、目标匀速运动的假设下完成的,如何提高算法在动态复杂背景及目标速度变化较大的情况下跟踪的稳定性,是需要进一步研究的内容。

参考文献

- [1] KIM H K, KIM J D. Region-based shape descriptor invariant to rotation, scale and translation[J]. Signal Processing: Image Communication, 2000,16(1-2):87-93.
- [2] SCHOLKOPF B. Statistical learning and kernel methods[M]. Technology Report MSR\_TR, 2002.
- [3] BADENAS J, BOBER M, PLA F. Motion and intensitybased segmentation and its application to traffic monitoring[C]. Proceedings of ICIAP 1310,1997:502-509.
- [4] LIN Y T, CHANG Y L. Tracking deformable objects with the Active Contour Model[C]. Proceedings IEEE (ICMCS' 1997), 1997:608-609.
- [5] 周尚波,胡鹏,柳玉炯. 基于改进 Mean-Shift 与自适应 Kalman 滤波的视频目标跟踪[J]. 计算机应用, 2010,30(6):1573-1576.
- [6] 郭大鹏,程卫平,于盛林. 基于帧间差分 and 运动估计的 Camshift 目标跟踪算法[J]. 光电工程, 2010,37(1):55-60.
- [7] 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):4216-4220.

(收稿日期:2011-09-20)

作者简介:

梁娟,女,1984 年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、视频监控。

项俊,女,1984 年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、视频监控。

侯建华,男,1964 年生,博士,教授,主要研究方向:图像处理、视频监控。