

## 网络视频监控中运动目标跟踪方法改进

韩光星, 李崇荣

(清华大学 网络科学与网络空间研究院, 北京 100084)

**摘要:** 针对传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法目标运动速度突然改变时跟踪丢失的问题, 在 Kalman 滤波器中引入加速度项使跟踪保持稳定; 为了提高 Camshift 跟踪算法的实时性, 使用简化的 Camshift 算法自适应调整跟踪窗口尺寸。实验结果表明 2 种改进分别提高了速度突变时跟踪准确性和目标跟踪的实时性, 适合网络视频监控场景。

**关键词:** 网络视频监控; MeanShift 算法; Kalman 滤波; Camshift 算法

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)Z1-0160-05

## Improvement on moving object tracking method for network video surveillance

HAN Guang-xing, LI Chong-rong

(Institute for Network Sciences and Cyberspace, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** To improve the performance of the traditional MeanShift algorithm based on Kalman filter, acceleration to solve the problem that the moving target changes the direction abruptly is proposed. Another algorithm using simplified Camshift algorithm to keep track of the blob size has low time complexity which meets the real time requirement of network video surveillance.

**Key words:** network video monitoring; MeanShift algorithm; Kalman filter; Camshift algorithm

### 1 引言

随着社会不断发展, 人们对于安全需求逐渐增加, 网络视频监控系统在各个领域均取得了广泛应用。网络视频监控使用智能处理技术对监控视频进行分析, 运动目标跟踪是网络视频监控领域里一项关键技术, 在视频各帧图像确定跟踪目标的位置, 直至消失, 并分配相同的 ID 号, 进而得到跟踪目标的完整运动轨迹, 是各种后续高级应用, 如目标分类、目标行为理解的基础<sup>[1]</sup>。

Peter Meer 等提出并完善了用于实时运动物体跟踪的 MeanShift 目标跟踪算法<sup>[2,3]</sup>, 随后 MeanShift 跟踪算法因计算量小, 收敛速度快获得了广泛的应用。但是 MeanShift 跟踪算法也存在一些问题, 如当运动物体被障碍物遮挡或多个运动物体运动区域相互重叠时跟踪容易丢失。

Peng N 等<sup>[4]</sup>将 Kalman 滤波<sup>[4]</sup>引入到 MeanShift 跟踪算法, 一定程度上解决了目标被遮挡而跟踪丢失问题<sup>[5-7]</sup>, 但是文中 Kalman 滤波器状态只记录位置和速度信息, 当目标运动速度突然改变时跟踪容易丢失, 通过引入加速度项解决这个问题。

由于 MeanShift 算法中没有对运动物体跟踪窗口大小的调整, 当运动物体向远离或靠近摄像机的方向运动时, 如不及时调整跟踪窗口大小会导致跟踪丢失。Peter Meer 等提出将跟踪窗口大小改变 10%并选出其中和目标相似度最高的作为跟踪窗口实际大小<sup>[2]</sup>, 但这种方法只能尝试比较几种窗口大小, 局限性很大。Collins R T 提出了用尺度变化的方法求解大小变化运动物体的尺寸<sup>[8]</sup>, 但是算法复杂, 计算量略大。John G Allen 等随后提出的 Camshift 算法<sup>[9]</sup>利用图像矩<sup>[10]</sup>计

算每一帧中跟踪目标的实际尺寸大小,该算法计算量小,实时性很好,但是目标跟踪窗的椭圆模型较为复杂,在 Camshift 算法基础上,为目标建立简化的矩形窗口模型,减少计算量,进一步提高算法的实时性。

## 2 网络视频监控处理流程

如图 1 所示,网络视频监控系统由网络摄像机和智能分析服务器组成。网络摄像机对监控区域采集录像并进行压缩编码,将得到的视频数据用 RTP 打包发送给后台智能分析服务器,智能分析服务器接收到网络摄像机发来的 RTP 数据分组后组帧解码,最后通过智能分析技术获取监控视频中运动目标相关信息并分析。由于整个过程是实时处理,这就要求视频编解码及智能分析在保证正确性的同时,处理速度要尽可能快。

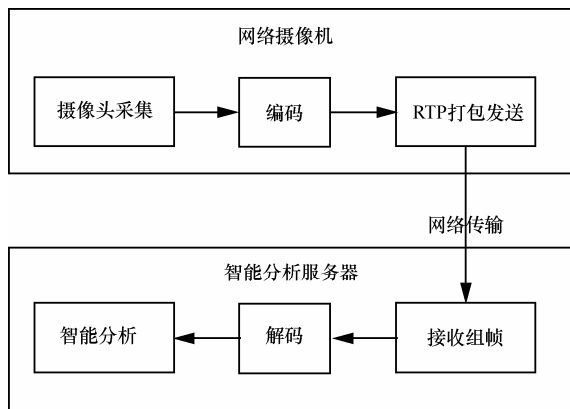


图 1 网络视频监控处理流程

智能分析技术包括运动目标检测、运动目标跟踪等,其中目标跟踪处理流程如图 2 所示。对于每一帧监控视频,首先经过前背景检测模块提取前景图像,由新团块检测模块检测运动目标并建立跟踪,对于每一个跟踪目标由团块跟踪模块确定其在当前帧位置,最后由轨迹分析模块处理跟踪目标运动轨迹进而对其行为进行分析。

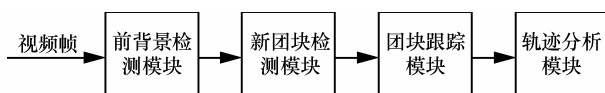


图 2 目标跟踪处理流程

## 3 MeanShift 目标跟踪算法及其改进

在目标跟踪技术中,团块跟踪模块是其核心处理部分,MeanShift 跟踪算法是应用较广的跟踪算

法。因网络视频监控对实时性和准确性要求较高,对 MeanShift 跟踪算法进行了改进。

### 3.1 MeanShift 跟踪算法及 Kalman 滤波的引入

#### 3.1.1 MeanShift 跟踪算法

MeanShift 算法跟踪运动目标时,首先用颜色直方图表示运动目标<sup>[11]</sup>。在某一帧内,候选目标初始位置选为上一帧目标位置,用 Bhattacharyya 系数计算当前候选目标和目标的相似度,并在其附近 MeanShift 迭代搜索,寻找相似度最大的候选目标,即目标在当前帧的位置<sup>[12]</sup>。MeanShift 跟踪算法由于计算量小,收敛速度快,广泛应用于目标跟踪领域,但是该算法易受到遮挡影响。

#### 3.1.2 传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法

针对 MeanShift 跟踪算法在处理目标被遮挡或多个运动目标运动区域相互重叠时跟踪丢失的问题,引入了 Kalman 滤波,Kalman 滤波可以根据目标在上一帧状态预测出当前帧目标大概位置,并将该位置作为 MeanShift 迭代的初始位置。文献[5~7]表明改进的算法对遮挡处理的效果要好于传统的 MeanShift 跟踪算法,Kalman 滤波为 MeanShift 算法提供了可靠的初始搜索位置,提高 MeanShift 算法搜索的精准度,同时也减少了 MeanShift 算法迭代次数,提高算法效率和准确度。但是文献[5~7]中所使用的 Kalman 滤波器状态只记录了运动目标的位置和速度信息,运动物体在速度突然改变时跟踪容易丢失。

### 3.2 改进的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法

针对传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法中存在的问题,在 Kalman 滤波器状态中引入加速度项,更精确地预测运动目标在当前帧的位置和速度等状态信息,因此能够更好地适应运动目标速度突然改变的情况。

#### 3.2.1 算法设计

基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法分为 3 步:首先,Kalman 滤波器根据运动目标在上一帧运动状态信息预测其在当前视频帧的位置,作为 MeanShift 跟踪算法的初始搜索点;经过几次 MeanShift 迭代,确定运动目标在当前视频帧的最优估计位置;最后,用运动目标的最优估计位置作为观测值,带回到 Kalman 滤波器更新阶段用来更新其相关参数。

下面确定所用 Kalman 滤波器的具体参数。首先使用运动目标位置  $x, y$  坐标,  $x, y$  方向速度,  $x, y$  方向加速度来表示其当前状态  $X(k)$ 。观测向量  $Z(k)$  则只取运动目标位置  $x, y$  坐标。因此  $X(k)$  和  $Z(k)$  可用式(1)和式(2)表示

$$X(k) = [x_k, y_k, x'_k, y'_k, x''_k, y''_k] \quad (1)$$

$$Z(k) = [x_k, y_k] \quad (2)$$

因为无外界对系统干扰, 故控制量  $U(k)$  为 0, 系统状态模型简化如下

$$X(k) = AX(k-1) + W(k) \quad (3)$$

由牛顿运动方程得

$$\begin{aligned} x_k &= x_{k-1} + x'_{k-1}t + \frac{1}{2}x''_{k-1}t^2 \\ x'_k &= x'_{k-1} + x''_{k-1}t \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $t$  表示相邻 2 帧时间间隔, 通常取  $t=1$ , 另外由于时间间隔较小, 可以假设运动目标在相邻 2 帧间隔内做匀加速直线运动, 对于  $y$  方向上  $y_k, y'_k, y''_k$  地递推与  $x$  方向类似, 因此系统的状态转移矩阵  $A$  为

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

由于  $W(k)$  是高斯白噪声, 一般取其协方差矩阵  $Q$  为

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \sigma_w^2 \quad (6)$$

对于系统的观测模型, 其观测矩阵  $H$  为

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

同样由于  $V(k)$  也是高斯白噪声, 同样取其协方差矩阵  $R$  为

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \sigma_v^2 \quad (8)$$

这样, 式(5)~式(8)确定了 Kalman 滤波器的全部参数  $A, Q, H, R$ , 有了这些参数信息后, 就可以利用 Kalman 滤波器为 MeanShift 提供较为准确的搜索起始点, 从而更加准确地确定运动目标的位置。

### 3.2.2 实验结果与分析

如图 3 所示, 图 3(a) 和图 3(b) 中传统 MeanShift 跟踪算法在 2 个物体相遇后跟踪丢失。而图 3(c) 和图 3(d) 中实现的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法则未受物体相遇, 互相遮挡的影响。又如图 4 所示, 图 4(a) 和图 4(b) 中传统 MeanShift 跟踪算法在物体被障碍物遮挡后跟踪丢失, 而图 4(c) 和图 4(d) 中实现的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法未受障碍物遮挡的影响。图 5(a) 和图 5(b) 所示的是传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法由于目标运动速度突变而跟踪丢失, 而图 5(c) 和图 5(d) 中实现的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法则不受目标运动速度突然变化的影响, 跟踪依然稳定。

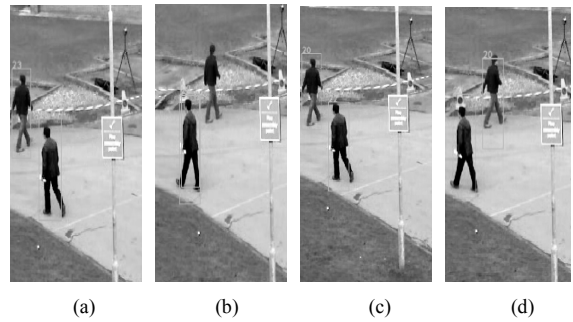


图 3 多个物体运动遮挡前后算法对比

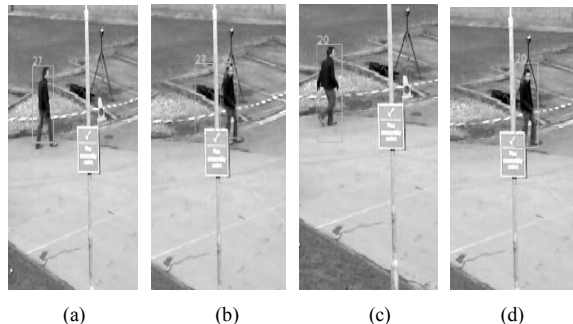


图 4 物体被障碍物遮挡前后算法对比

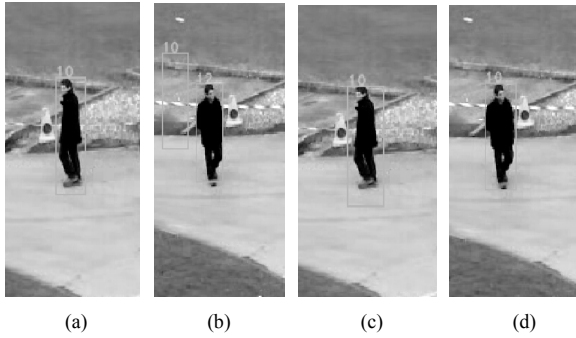


图 5 物体突然改变方向前后算法对比

综上实验表明，所实现的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法既解决了目标被遮挡 MeanShift 跟踪算法跟踪丢失的问题，又通过在状态中引入加速度项避免了目标速度突然改变时传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法跟踪丢失问题。

### 3.3 跟踪窗口自适应调整算法

由于 MeanShift 算法中没有对运动物体跟踪窗口大小的调整，Camshift 算法的提出解决了这个问题，Camshift 算法为每一个跟踪目标建立椭圆跟踪窗口，模型较为复杂。为了提高 Camshift 跟踪算法的实时性，在 Camshift 算法基础上做了简化，跟踪目标使用矩形窗口，经 MeanShift 迭代得到目标大致位置后，使用图像矩方法对当前位置附近的前景二值图像分析，将此部分前景图像的质心作为跟踪框中心  $x$ 、 $y$ ，2 个方向上像素标准差的 4 倍作为跟踪框的长宽。该方法简单方便，计算量小，因此实时性较好。

#### 3.3.1 算法设计

首先检查运动目标运动区域是否重叠，当运动目标之间没有干扰时才调整跟踪窗大小，先使用上一帧目标跟踪  $s$  框通过 MeanShift 跟踪算法迭代得到运动目标在当前帧的大致位置，然后将运动目标跟踪框扩大 1.5 倍，中心位置不变，截取这一区域的前景二值图像，并分别求出其零阶矩  $m_{00}$ ，一阶矩  $m_{01}$ ， $m_{10}$  和二阶矩  $m_{02}$ ， $m_{20}$ 。图像的  $(p, q)$  矩可以通过下式计算

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^n I(x_i, y_i) x_i^p y_i^q \quad (9)$$

用该部分图像质心近似表示跟踪框中心位置，即

$$\begin{aligned} x_{avg} &= m_{10} / m_{00} \\ y_{avg} &= m_{01} / m_{00} \end{aligned} \quad (10)$$

又因正态分布 95.449 974%数据落在平均数左右 2 个标准差  $2\sigma$  范围内，因此可以用该部分图像  $x$ 、 $y$ ，2 个方向标准差的 4 倍来近似表示跟踪框长宽，即

$$\begin{aligned} w &= 4\sqrt{m_{20} / m_{00} - x_{avg}^2} \\ h &= 4\sqrt{m_{02} / m_{00} - y_{avg}^2} \end{aligned} \quad (11)$$

基于上面的算法，首先，使用 MeanShift 跟踪算法得到目标在当前帧位置，然后，对目标所在区域前景图像分析估计出新跟踪窗口的中心位置和尺寸，因此，跟踪窗口能够根据目标尺寸自适应做出调整。

#### 3.3.2 实验结果与分析

下面实验跟踪一个逐渐远离摄像机镜头的运动物体，物体身后的蓝线表示其运动轨迹。图 6 和图 7 为分别使用 MeanShift 跟踪算法和改进后算法的跟踪结果。实验结果表明改进后的算法能够根据目标实际大小自适应地调整跟踪框尺寸，从而实现运动目标稳定跟踪，而且算法实现简单方便，实时性较好。

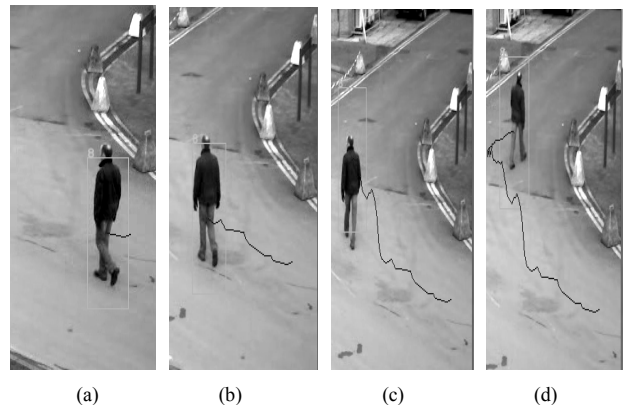


图 6 MeanShift 算法跟踪结果



图 7 跟踪窗口自适应调整算法改进后跟踪结果

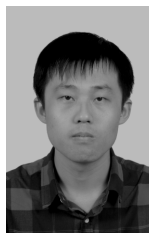
## 4 结束语

本文主要研究了网络视频监控中运动目标检测技术和运动目标跟踪技术。在 Kalman 滤波器中引入加速度项,解决了运动物体速度突然改变时传统的基于 Kalman 滤波的 MeanShift 跟踪算法跟踪丢失问题,提高了跟踪算法的准确性。为提高 Camshift 跟踪算法实时性,简化了 Camshift 算法模型,用矩形框跟踪运动物体,实验结果证明该方法不仅能够根据目标实际大小自适应地调整跟踪框尺寸,而且实现简单方便,实时性好,适合网络视频监控场景。

## 参考文献:

- [1] 赵春晖, 潘泉, 梁彦等. 视频运动目标分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.1-109.  
ZHAO C H, PAN Q, LIANG Y. Video Imagery Moving Targets Analysis[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011. 1-109.
- [2] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift[A]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. 2000.142-149.
- [3] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [4] KALMAN R E. A new approach to linear filtering and prediction problems[J]. Journal of Basic Engineering, 1960, 82(1): 35-45.
- [5] PENG N, YANG J, LIU Z. Mean shift blob tracking with kernel histogram filtering and hypothesis testing[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26, 605-614.
- [6] ZHAO J, QIAO W, MEN G Z. An approach based on mean shift and kalman filter for target tracking under occlusion[A]. 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics[C]. 2009, 4: 2058-2062.
- [7] ABHARI S Q, ERSHADI T Z. Target tracking based on mean shift and Kalman filter with kernel histogram filtering[J]. Computer and Information Science, 2011, 4(2):152.
- [8] COLLINS R T. Mean-shift blob tracking through scale space[A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. IEEE, 2003. II-234-40.
- [9] ALLEN J G, XU R Y D, JIN J S. Object tracking using camshift algorithm and multiple quantized feature spaces[A]. Proceedings of the Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing[C]. Australian Computer Society, Inc, 2004.3-7.
- [10] BRADSKI G, KAEHLER A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library[M]. O'Reilly Media, Inc, 2008.
- [11] 韦迅. 基于均值漂移的动态目标跟踪算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.  
WEI X. The Study of Dynamic Target Tracking Algorithm Based on Mean Shift [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012.
- [12] 夏瑜. 视觉跟踪新方法及其应用研究[D]. 江苏: 江南大学, 2013.  
XIA Y. Research on Novel Method of Visual Tracking and Its Applications [D]. Jiangsu: Jiangnan University, 2013.

## 作者简介:



韩光星(1993-), 男, 河北邢台人, 清华大学博士生, 主要研究方向为多媒体技术、视频处理等。



李崇荣(1954-), 女, 广西合浦人, 清华大学网络科学与网络空间研究院副院长, 研究员, 主要研究方向为互联网体系结构、下一代互联网、实时高清视频等。