

doi: 10.7690/bgzdh.2014.03.019

基于 PTZ 摄像机的运动目标跟踪控制

杨亮, 周勇, 刘歆浏

(中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对在 PTZ 摄像机下云台实时连续控制比较困难的问题, 对基于 PTZ 摄像机的运动目标跟踪控制方法进行研究。以 HSV 颜色直方图作为模型特征, 通过 Mean-shift 算法实现运动目标的定位和检测。运用模糊控制的思想对 PTZ 摄像机云台的运动进行控制, 并以行人跟踪视频来搭建系统进行实验分析。结果表明: 该方法是可行的, 具有控制简单、定位准确的优点, 能提高目标跟踪的稳定性和可靠性。

关键词: PTZ 摄像机; 目标跟踪; 颜色直方图; 均值偏移

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Moving Object Tracking Control Based on PTZ Camera

Yang Liang, Zhou Yong, Liu Xinliu

(Department of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: Because it is hard to realize platform consecutive control for under PTZ camera, research on object tracking control method based on PTZ camera. Use HSV color histogram as model feature, then adopt Mean-shift algorithm to realize object tracking location and detection. Use fuzzy control theory to control PTZ camera platform movement, and use passerby tracking video to establish system and carry out experiment analysis. The results show that the method is feasible, with advantages of simple control and remaining correct location. It also can improve stability and reliability of object tracking.

Keywords: PTZ camera; object tracking; color histogram; mean-shift

0 引言

PTZ (Pan/Tilt/Zoom) 摄像机是将 CCD 摄像机、变焦变倍镜头、全景云台等摄像机系统, 以及附属的部件集成在一个单元中。基于 PTZ 摄像机的目标跟踪又称为主动目标跟踪^[1], 指图像工作站通过对 CCD 所获取的视频图像序列进行处理, 进一步对运动目标进行检测、分割和跟踪, 将得到的目标质心偏离视场中心区域的偏差值回馈给云台控制系统, 控制其全方位转动, 实现摄像机对目标的实时跟踪^[2]。由于 PTZ 摄像头的拍摄范围广阔、多变, 存在不同焦距下的不同场景细节信息。在 PTZ 摄像机下构建背景模型比较困难, 而有效的算法多基于固定摄像头。笔者通过目标建模定位, 采用 Mean-shift 算法^[3]进行目标的检测和跟踪, 获取目标运动信息, 运用模糊控制的思想对云台控制策略作出探究。

1 运动目标检测

1.1 目标图像的建模

对于视觉跟踪, 建立目标模型的目的是通过一定的数学模型来描述目标的视觉特性, 不同的目标

模型基于不同的图像特征, 也对应不同的特征空间。而对基于 Mean-shift 的目标跟踪, 目标和候选目标的模型往往是对目标区域的图像特征进行统计而得到的离散概率密度函数, 即归一化的直方图向量^[4]。

在复杂背景图像中, 由于目标的形变, 不能简单地以边缘形状特征进行模板匹配。选用颜色直方图特征对运动目标的旋转、形变和尺度变化具备更好的鲁棒性。通过试验比较多种颜色空间在表达目标特征上的效果, 发现 HSV 空间能更好表达目标的颜色信息, 更加贴近人的视觉感知^[2]。

假定目标的中心位于直角坐标系的原点, 目标区域由 n 个像素点 $\{x_i\}$, $i=1, \dots, n$ 构成, 式中 $x_i=(x_i, y_i)$ 为像素坐标, 直方图的 bin 个数为 m , 则目标的核直方图模型为

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

式中: δ 为克罗内克 (Kronecker delta) 函数; h 为窗口的带宽矩阵, 用来限定要考虑的候选目标的像素个数; $b(x_i)$ 为将像素 x_i 所对应的特征值映射到相应的 bin 值的量化函数; $k(\cdot)$ 是核函数 $K(\cdot)$ 的剖面函数;

收稿日期: 2013-10-13; 修回日期: 2013-11-23

作者简介: 杨亮 (1988—), 男, 甘肃人, 在读硕士, 从事数字图像处理研究。

C_h 是归一化系数； h 通常为目标区域外接圆的半径大小。

同理，位于位置 y 的候选目标的模型定义为

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

1.2 相似性度量——Bhattacharyya 系数

当用式 (1) 表示目标图像，而用式 (2) 表示候选目标图像后，需要选择合适的相似性度量函数。采用 Bhattacharyya 系数来度量目标模型和候选区域间的相似性程度：

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{p}(y), \hat{q}]} \quad (3)$$

式中：

$$\hat{\rho}(y) \equiv \rho[\hat{p}(y), q] = \sum_{b=1}^m \hat{p}_b(y) q_b \quad (4)$$

1.3 Mean-shift 目标跟踪算法

Mean-shift 目标跟踪的关键是在图像平面中找到位置 y ，使目标与候选目标在所选特征的距离空间内取得最小距离，等价于式 (3) 所示 Bhattacharyya 系数 $\rho(y, q)$ 近似为：

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0) q_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^n w_i k\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (5)$$

式中：

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

式 (5) 中第 2 项可以看作是在样本点 y 处以 $k(x)$ 为核函数的剖面函数且权重为 w_i 的密度估计。若使相似性系数 $\rho(y, q)$ 达到最大值，只需使该项值达到最大。Mean-shift 向量为

$$m_{h,G}(y) = \hat{y} = \frac{x \sum_{i=1}^n x_i w_i g\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n w_i g\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (7)$$

通过式 (7) 得到偏移向量，各种目标可以按如下进行：在每帧选定初始位置，通过式 (7) 计算偏移向量，将目标移动到新位置，重复该过程直到收敛。Mean-shift 目标跟踪的具体算法^[5]如下：

输入：目标初始位置 y_0 ，目标直方图模型 q 。

输出：目标估计位置 \hat{y} 。

1) 提取候选目标的直方图向量 $p(y_0)$ ，计算与目标模型的相似度 $\hat{\rho}(y)$ ；

2) 根据式 (7) 计算偏移向量，找到目标下一次

迭代的新位置 \hat{y} ；

3) 计算候选目标在新位置上与目标模板的相似度 $\rho[p(\hat{y}), q]$ ；

4) 当 $\rho[p(\hat{y}), q] < \rho[p(y_0), q]$ 成立时，

$$\text{赋值 } \hat{y} \leftarrow \frac{1}{2}(\hat{y} + y_0)$$

$$\text{计算 } \rho[p(\hat{y}), q]$$

结束

5) 如果 $\|\hat{y} - y_0\| < \varepsilon$ ，停止本帧跟踪；否则设

定 $y_0 \leftarrow \hat{y}$ ，回到步骤 2)。

2 PTZ 摄像机的跟踪控制系统

2.1 目标选择

目标选择有以下 4 种情况：

1) 初始帧，采用手动的方式选定目标，得到目标的质心和尺寸。

2) 初始帧选定目标后，以后每帧都是调用跟踪函数，来确定每帧目标的质心和尺寸。

3) 云台转动之后，目标又重新回到视场的中心区域，这时目标的质心位置发生了变化，所以要重新定位目标的质心以实现对该目标的连续跟踪。

目标质心重新定位的方法通常有模板匹配和均值漂移 2 种，笔者采用均值漂移的方法。当跟踪目标即将要走出以视场为中心的圆形区域时，提取目标的颜色直方图并保存，同时发送指令控制云台摄像机迅速转动，云台转动后使跟踪目标再次回到视场中心区域，以视场中心点为初始迭代点，计算目标新的位置^[6]。

4) 镜头变倍后，跟踪波门的大小也会随之发生变化，需要及时根据摄像机的变倍率调整目标的尺寸，以便对目标的持续跟踪，变倍后波门的大小是当前大小乘以变倍率 f 。

2.2 P/T 控制

在实际系统中，由于被跟踪目标运动的随机性，很难用精确的数学模型来描述；因此，笔者采用模糊控制的思想来实现对云台的控制^[4]。

云台模糊控制策略的基本思路是：在目标跟踪算法中定位出目标的质心位置，以该位置与图像中心位置的偏差作为模糊控制的距离，将这个距离与预先设定的阈值进行比较，得出云台转动的模糊方位控制量，然后计算出云台转动的速度，之后控制

云台，使其做间歇性转动，即：每转动一次，停下来计算当前帧中目标质心与视场中心点的距离，确定是否需要转动及转动的方向，重复这个过程，最终使摄像机视场中心对准目标，始终保持目标在视场范围内。

云台的控制遵循 PELCO-D(派尔高)协议，只能发送开始转动、停止转动的命令来启动和停止转动；因此，在开始和停止命令间必须设置一个延时参数 Δt ，为云台预留时间来执行相应的动作。据此，云台控制包括摄像机方向控制和摄像机转速控制。

2.2.1 方向控制

摄像机所拍摄的真实场景中的平面图像如图 1 所示，图 2 为图像平面的像素坐标示意图，图中的圆形区域为所拍摄图像的中心视场范围，视场中心点的坐标为 (x_c, y_c) ，跟踪目标质心在当前帧的坐标为 (x_i, y_i) ，则跟踪位置矢量 r 表示为：

$$r = (x_i - x_c)i + (y_i - y_c)j \quad (8)$$

当 $|r| \geq R$ 时，运动目标走出或即将走出摄像机中心视场区域，云台开始转动，以使摄像机的成像中心轴移向目标；当 $|r| < R$ 时，运动目标处于摄像机中心视场范围内，云台不转动。其中 R 为阈值，表明视场中心区域的范围大小， R 的取值由实际应用情形而定，具体取决于目标尺寸和焦距大小。根据跟踪目标质心与摄像机视场中心的相对位置关系，把云台的转动方向分成以下 8 种情况：右、左、上、下、右上、右下、左上和左下。通过摄像头采集的每一帧的图像信息可以得到摄像头视场的中心位置 (x_c, y_c) ，由目标跟踪算法可以返回目标的质心坐标 (x_i, y_i) ，预先设定距离阈值 R ，笔者设定 $R=50$ 分别求得目标中心与视场中心的纵横坐标之差，即：

$$\begin{cases} \Delta x = x_i - x_c \\ \Delta y = y_i - y_c \end{cases} \quad (9)$$



图 1 摄像机拍摄的真实场景中的平面图

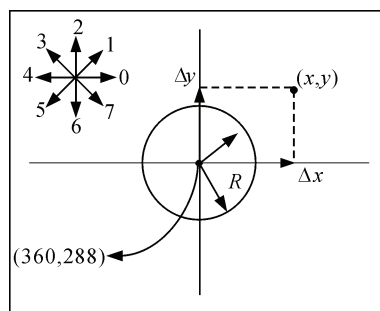


图 2 图像平面中的像素坐标示意图

通过目标质心位置与视场中心在 x 和 y 方向偏差与预先设定的阈值 R 进行比较，根据比较结果来判断摄像机的转动方向。

如图 2 所示，具体方向控制如下：

- 0: $\Delta x > R$ 且 $|\Delta y| \leq R$ ，水平向右运动；
- 1: $\Delta x > R$ 且 $\Delta y < -R$ ，向右上方运动；
- 2: $|\Delta x| \leq R$ 且 $\Delta y < -R$ ，垂直向上运动；
- 3: $\Delta x < -R$ 且 $\Delta y < -R$ ，向左上方运动；
- 4: $\Delta x < -R$ 且 $|\Delta y| \leq R$ ，水平向左运动；
- 5: $\Delta x < -R$ 且 $\Delta y > R$ ，向左下方运动；
- 6: $|\Delta x| \leq R$ 且 $\Delta y > R$ ，垂直向下运动；
- 7: $\Delta x > R$ 且 $\Delta y > R$ ，向右下方运动。

由于云台控制协议中有 4 个方向，本系统需要控制 8 个方向的转动，所以采用优先控制策略，即水平和垂直方向都需要旋转时，对比目标质心与视场中心在 x, y 2 个方向上的偏移量 Δx 和 Δy ，为了使偏差距离较大的那个方向优先得到校准，取两者中绝对值较大的那一方向作为云台优先的转动方向。

2.2.2 转速控制

根据云台控制协议可知，水平和垂直的转速均为 0~255 共 256 级调速，为避免云台转动速度过大而导致的震荡或者跟踪丢失，将速度设置在 0~63。摄像头视场的中心位置为 (x_c, y_c) ，则目标水平方向可偏移的最大偏差为 x_c ，垂直方向可偏移的最大偏差为 y_c ，设定摄像机水平方向速度比例系数 $k_1=64/x_c$ ，垂直方向速度比例系数 $k_2=64/y_c$ 通过 $\Delta x, \Delta y$ 与 R 之间的差值来线性调节摄像头转速。

当 $\Delta x > 0, \Delta y > 0$ 时，摄像头水平和垂直转速分别为 $\Delta x \times k_1$ 和 $\Delta x \times k_2$ ；

当 $\Delta x < 0, \Delta y < 0$ 时，摄像头水平和垂直转速分别为 $|\Delta x| \times k_1$ 和 $|\Delta x| \times k_2$ 。

2.3 ZOOM 控制

笔者采用摄像机的标配速度来进行变倍，如果

目标还没有处于视场中心，放大之后极有可能超出视场范围。笔者是在 PTZ 摄像机视场中心对准目标以后（即当目标的质心与图像中心的距离小于某个阈值 R_1 时，选取 $R_1=10$ ）再做缩放动作。通过波门的面积作为判断是否需要变倍的依据，当波门的面积小于某个阈值，则执行放大的操作；若波门的面积大于某个阈值，则执行缩小的操作，都是以标准速度进行缩放或放大。

系统主要由 PTZ 摄像机和图像处理工作站组成，结构示意图如图 3。

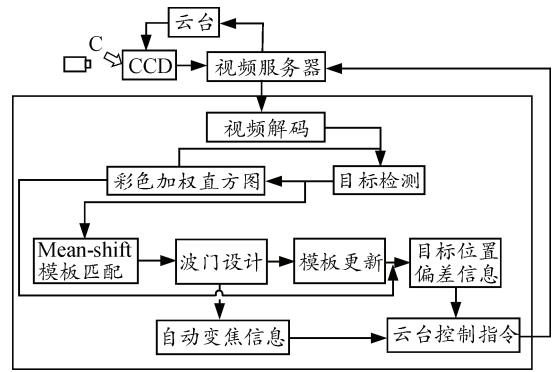


图 3 系统结构示意图



(a) 第 102 帧

(b) 第 158 帧

(c) 第 211 帧

图 4 跟踪效果图

3 实验结果及分析

系统选择行人跟踪视频，分辨率为 720×576 像素，处理速度为 25 帧/s。跟踪效果如图 4 所示。

4 结束语

通过具体的系统搭建和试验可以发现，该方法具有控制简单、定位准确的优点。模板采用加权彩色直方图具有一定的抗干扰性。

由于传统的 Mean-shift 算法采用核直方图模型对目标进行建模，只保留较少的空间信息，导致该方法跟踪结果的精确性较低，并且无法很好地处理遮挡的情形。在下一步的工作中，可结合多种算法，如分段的 Mean-shift 算法、粒子滤波、卡尔曼滤波等，以提高跟踪的稳定性和鲁棒性。

参考文献：

- [1] 张儒元. 基于 PTZ 镜头的主动目标跟踪[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009: 2-3.
- [2] 刘歆浏, 田瑞娟, 陈阳, 等. 基于高速球的运动目标自适应 PTZ 跟踪[J]. 兵工自动化, 2009, 28(9): 78-81.
- [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] 宗伟伟. 基于 PTZ 摄像机的运动目标跟踪算法研究与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2011: 46-54.
- [5] 杨杰, 张翔. 视频目标检测和跟踪及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2012: 159-166.
- [6] 吴敏, 赵文礼, 周芳. 基于混沌理论的微弱信号检测及自跟踪扫频电路实现[J]. 机电工程, 2013, 30(7): 815-819.