

基于改进的均值漂移算法的目标跟踪

马 丽, 常发亮, 乔谊正, 刘增晓

(山东大学控制科学与工程学院, 济南 250061)

摘要: 提出了一种基于目标颜色特征的改进的均值漂移算法, 对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, 以克服干扰影响, 并提出了一种分块检测遮挡算法, 遮挡期间不更新颜色模板, 以保证遮挡后恢复准确的跟踪。实验结果表明该算法具有较强的鲁棒性, 能有效实现复杂场景下的目标跟踪。

关键词: 目标跟踪; 均值漂移; 遮挡

Target Tracking Based on Improved Mean Shift Algorithm

MA Li, CHANG Faliang, QIAO Yizheng, LIU Zengxiao

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061)

【Abstract】 An improved mean shift algorithm is proposed based on color feature. The target point which accords with the color template has the largest weight regardless of its probability in the histogram, making the target density peak and overcoming the serious clutter and occlusion. Effective occlusion detection method based on sub-block is put forward and the color template isn't updated to resume the accurate tracking after occlusion. Experimental results indicate it is robust and has good performances under complex background.

【Key words】 Target tracking; Mean shift; Occlusion

1 概述

运动目标跟踪在机器人视觉导航、医疗诊断、交通监视等领域有着非常重要的实用价值和广阔的发展前景。复杂场景下光照变化、目标变形、机动、被遮挡等问题的有效处理一直是目标跟踪研究的难点。

均值漂移算法已经广泛地应用于目标跟踪领域。Dorin Comaniciu以加权颜色直方图作为目标特征, 表示相似度的Bhattacharyya系数最大, 等价于求取概率密度极值, 从而将均值漂移算法应用于目标跟踪^[1,2]。Gray R.Bradski将图像的每一点用其在目标颜色直方图中的概率表示, 通过均值漂移算法使跟踪窗向概率密度大的方向也就是目标所在方向漂移^[3]。此外还有在均值漂移算法框架下加入颜色模型选择和模板更新的自适应均值漂移算法^[4,5]。

但是以上算法都存在诸多不足: Dorin Comaniciu 在跟踪过程中没有颜色模板的更新, 不能适应光照变化; Gray R.Bradski 仅采用了色调这一个颜色特征, 对复杂环境下的跟踪显然是不够的, 文献[4,5]中不能很好地解决遮挡问题。此外, 上述算法的一个共同点是目标点的权值基于直方图概率, 但小权值目标点对形成密度极值区的作用很小, 存在目标点损失问题。

针对以上问题, 本文首先只选择目标最主要的一类颜色进行跟踪, 并使对应这类颜色的运动点的权值最高为 1(不论其在直方图中的概率大小), 在目标上最大限度地形成密度极值区, 这样虽然受干扰的可能性增大, 但是其克服任何干扰的能力也大大提高。其次, 在非遮挡情况下实时更新颜色模板, 保证跟踪的准确性。再次, 为克服静止背景颜色对目标直方图统计以及均值漂移算法的影响, 加入运动分割信息。最后, 为解决跟踪问题中特别是人的跟踪中最常见的遮挡问题, 提出一种有效检测遮挡的算法, 当遮挡发生时不更新模

板, 以保证遮挡结束后恢复对目标的跟踪。

2 目标模板统计

YCbCr空间能实现亮度与色度的分离, 且是一种离散空间, 具有很好的聚类特性, 能满足目标跟踪中实时性和准确性要求, 其中Y代表亮度信息, Cb代表光源中的蓝色分量, Cr代表光源中的红色分量。将3个颜色分量分别量化为 N_{cr} 、 N_{cb} 、 N_y 级, Cr和Cb主要确定目标的颜色性质, 所以目标模板基于CrCb空间的 $N_{cr} \times N_{cb}$ 级二维直方图和Y空间的 N_y 级一维直方图。初始帧选取目标最主要的一类颜色进行跟踪, 通常直方图的颜色范围比较窄。为去除静止背景颜色对目标直方图统计的影响, 先采用背景差分算法在跟踪窗内提取运动点, 然后统计运动目标直方图:

$$q_u^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta(b^j(x_i) - u^j), \quad j=1, 2, \quad u^1 = 1, \dots, N_{cr} \times N_{cb}, \quad u^2 = 1, \dots, N_y \quad (1)$$

其中 q_u^1 和 q_u^2 分别表示CrCb空间和Y空间的归一化直方图分布, u^1 和 u^2 是相应空间的颜色向量, $b^j(x_i)$ 是 x_i 像素点在相应直方图中的颜色索引值($b^1(x_i)$ 在 q_u^1 直方图中表示该点的Cr和Cb值, $b^2(x_i)$ 在 q_u^2 直方图中表示Y分量值), δ 是kronecker delta函数, n 是跟踪窗内运动点的数量, x_i 是各像素点的位置。

为减小目标受干扰的程度, 颜色模板范围应准确表达跟踪颜色类, 取直方图中与最大概率值相比大于 0.1 的颜色作为颜色模板。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60104009); 山东省自然科学基金资助项目(Y2005G16)

作者简介: 马 丽(1982-), 女, 硕士, 主研方向: 计算机视觉, 模式识别; 常发亮, 教授; 乔谊正, 教授、博导; 刘增晓, 硕士

收稿日期: 2005-12-19 **E-mail:** maryparis@163.com

$$q_u^{*j} = \frac{q_u^j}{\max(q_u^j)}, j=1,2 \quad (2)$$

$$T_u^j = \begin{cases} 1 & \text{if } q_u^{*j} > 0.1 \\ 0 & \text{if } q_u^{*j} \leq 0.1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, T_u^j 为目标模板, 其值为 1 处对应的目标颜色。

跟踪过程中由于目标变形、光照等会使目标颜色发生变化, 要保证跟踪的可靠性, 在非遮挡情况下必须实时更新颜色模板。第 t 帧模板的更新方法是: 对第 $t-1$ 帧跟踪目标在跟踪窗内按上述方法统计 T_u^j , 作为 t 帧颜色模板。

3 改进的均值漂移跟踪算法

3.1 权值计算

对背景差分法得到的运动点 (i,j) 记 $f(i,j)=1$, 静止背景的权值为 0, 以克服背景中相同颜色的影响。

$$w(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_u^1 \times \delta(b^1(i,j) - u^1) = \\ & 1 \ \& \ T_u^2 \times \delta(b^2(i,j) - u^2) = 1 \ \& \ f(i,j) = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

这种赋权值的方法在目标处最大限度地形成密度极值区, 能有效克服各种遮挡影响, 并使均值漂移算法实现更快的收敛。

3.2 均值漂移算法

均值漂移是一种基于非参数的核密度估计理论, 是在概率空间中求解概率密度极值的优化算法^[6,7], 通过对目标点赋大权值, 对非目标点赋小权值, 使目标区域成为密度极值区, 从而将目标跟踪同均值漂移算法联系起来。均值漂移向量的方向和密度梯度估计的方向一致, 使跟踪窗向密度增大最大的方向漂移, 并且它的大小和密度估计成反比, 是一种变步长的跟踪算法。

第 t 帧目标中心为 $C_0(x_0, y_0)$, 作为 $t+1$ 帧初始跟踪位置, 计算 $t+1$ 帧目标中心 $C_1(x_1, y_1)$ 的均值漂移算法步骤如下:

Step1 计算跟踪窗内各点 (i,j) 的权值 $w(i,j)$, $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 。 m 和 n 分别为跟踪窗的长度和宽度。

Step2 计算新的漂移位置 $C_1(x_1, y_1)$ 。

$$x_1 = \frac{\sum_i \sum_j i \times w(i,j)}{\sum_i \sum_j w(i,j)} \quad y_1 = \frac{\sum_i \sum_j j \times w(i,j)}{\sum_i \sum_j w(i,j)} \quad (5)$$

Step3 若 $\|C_1 - C_0\| < \varepsilon$, 则停止计算。否则将 C_1 作为 C_0 返回 Step1 迭代。参数 ε 的设置应保证 2 次收敛到同一点。

3.3 目标尺度实时更新

采用文献[2]所述方法在非遮挡情况下实时更新目标尺度:

$$h_{new} = \gamma h_{opt} + (1 - \gamma) h_{prev} \quad (6)$$

其中 h_{prev} 为上帧尺度, h_{opt} 为由模板和当前跟踪目标间的相似性度量 Bhattacharyya 最大得到的最优尺度, γ 是更新因子, 一般取为 0.1, h_{new} 即为当前目标尺度。

4 遮挡情况下的跟踪

4.1 遮挡分块检测及处理

由于遮挡是从局部开始的, 因此采用分块检验方法可以尽早检测到遮挡。如图 1(a) 所示, 把跟踪窗区域分成 4 个子块, 分别记为 $block(i)$, $i=1,2,3,4$ 。相应地, 在离跟踪窗外 5 个像素处设一个大窗, 分别产生 4 个子框, 记为 $frame(i)$, $i=1,2,3,4$ 。按式(1)统计 4 个子块和相应 4 个子框在 t 时刻的归

一化直方图 $blo_q_u^j(i,t)$ 和 $fra_q_u^j(i,t)$ 。其中 $i=1,2,3,4$ 为子块或子框的编号, $j=1,2$ 为直方图空间编号。

假设从子块 i_0 开始发生遮挡, 则该子块的直方图 $blo_q_u^j(i_0,t)$ 应该与上帧相应子框中的直方图 $fra_q_u^j(i_0,t-1)$ 相似(遮挡物部分的直方图), 而与遮挡前该子块的直方图 $blo_q_u^j(i_0,t-2)$ 相似度降低。由于 $t-1$ 帧中可能已经有部分遮挡点进入该子块, 因此以 $t-2$ 帧该子块直方图作为遮挡前该子块直方图。

用 Bhattacharyya 系数度量两个直方图的相似度^[1,21]:

$$B1(i,t) = \sum_{u=1}^{N \times N} \sqrt{blo_q_u^1(i,t) \times blo_q_u^1(i,t-2)} \times \sum_{u=1}^N \sqrt{blo_q_u^2(i,t) \times blo_q_u^2(i,t-2)} \quad (7)$$

$$B2(i,t) = \sum_{u=1}^{N \times N} \sqrt{blo_q_u^1(i,t) \times fra_q_u^1(i,t-1)} \times \sum_{u=1}^N \sqrt{blo_q_u^2(i,t) \times fra_q_u^2(i,t-1)} \quad (8)$$

$$\text{if } \exists(i) B2(i,t) > B1(i,t), i=1,2,3,4 \\ \text{then } occlusion(t) = 1 \quad (9)$$

其中 $B1(i,t)$ 表示 t 时刻 i 子块与 $t-2$ 时刻 i 子块的相似度, $B2(i,t)$ 表示 t 时刻 i 子块与 $t-1$ 时刻 i 子框的相似度。若存在子块满足式(9), 表明其发生了遮挡, 置遮挡标记 $occlusion(t)=1$, 令 t 帧模板不更新, 并以 $t-2$ 帧模板作为遮挡过程中的模板。

遮挡结束后应该恢复模板更新。判断遮挡结束的方法是: 在上述框中(框的面积记为 S)检测运动点的数量 n_move , 目标在框内的剩余点数量(可由先验知识及尺度更新得知)记为 n_left 。若满足 $n_move - n_left < S/8$ 的帧数大于 5, 则遮挡结束。 $S/8$ 阈值的选择是因为所跟踪目标旁边可能有非遮挡的另外运动目标在框内, 持续 5 帧的作用一是保证遮挡的完全结束; 二是防止完全遮挡情况下框内运动点很少而误判遮挡结束。

4.2 遮挡实验分析

遮挡过程中目标信息逐渐被遮挡, 所以不能进行模板更新。图 1(a) 为对遮挡的检测开始; 图 1(b) 为模板更新情况下的跟踪, 黑点表示窗内及框内所有高权值点, 由于实时统计进了遮挡物的部分颜色信息, 一次遮挡物部分点已经被当作了目标点, 窗口开始向两个目标共同的密度极值区漂移; 图 1(c) 中虽然原目标已接近出离遮挡, 但由于模板以遮挡物信息为主, 因此跟踪在遮挡物上; 图 1(d) 为模板不更新时窗内及框内符合模板颜色的分布情况, 遮挡物的点没有被判断为目标点, 算法只跟踪剩余目标点形成的密度极值区; 当目标逐渐出离遮挡时, 跟踪开始恢复正常, 如图 1(e) 所示。

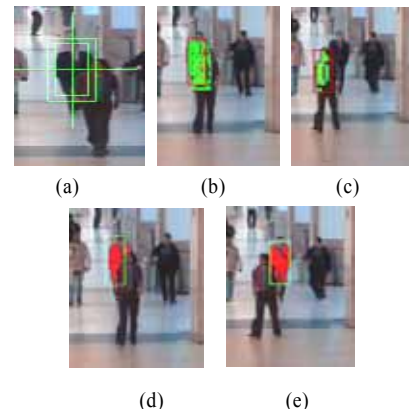


图 1 遮挡检测、模板更新与否的对比结果

5 实验结果及分析

5.1 本文与文献[3]的权值计算方法的比较

本文对所有检测到的目标点都赋高权值,使目标区域最大限度地成为密度极值区,严重遮挡后可恢复正确跟踪。图 2(a)~图 2(d)是本文算法的跟踪结果,其中黑点为权值是 1 的点,图 2(a)为遮挡初期,跟踪两物体共同密度极值区;图 2(b)为完全遮挡下的跟踪;图 2(c)中目标逐渐脱离遮挡,真正目标点增多,密度极值区开始向目标漂移;图 2(d)为目标完全脱离遮挡,恢复正常、正确的跟踪。文献[3]以直方图概率赋权值,由于目标大权值点分布不均匀,而遮挡物多数点对应大权值点,因此对这种遮挡,文献[3]无法克服。如图 2(e)~图 2(h),其中黑点显示色调 h 直方图中概率大于 0.5 的点。图 2(e)为遮挡初期,目标中大权值点大多被遮挡,跟踪窗开始向遮挡物漂移;图 2(f)窗口漂移向遮挡物中大权值区域;由图 2(g)和图 2(h)可见,虽然目标逐渐脱离遮挡,但由于遮挡物对应大权值点多而集中和均值漂移算法收敛到局部极值点的性质,使正确跟踪无法恢复。

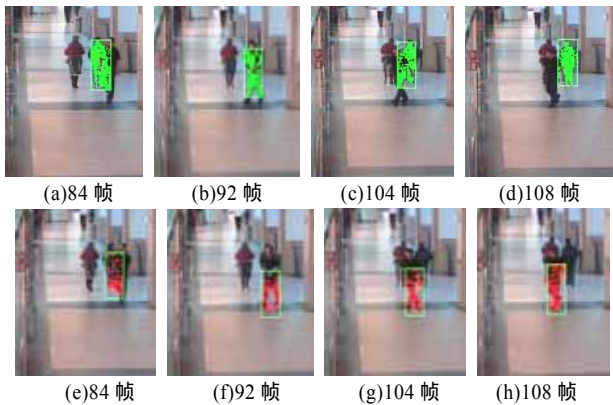


图 2 本文与文献[3]的权值计算方法的对比

5.2 光照不均匀以及存在机动的跟踪

跟踪场景为目标转弯进入光照区后再转身从光照区离开,如图 3(a)~图 3(e)。由于算法实时更新颜色模板,因此目标在进入光照区后能及时获得新的颜色信息。目标在刚进入光照区时与背景颜色区分不大,加入的运动分割信息很好地保证了跟踪的准确性。图 3(f)显示了跟踪的 70 帧(实际是 280 帧,每隔 4 帧进行跟踪以增大机动性和颜色变化的剧烈程度)均值漂移算法的迭代次数,只有在目标机动和颜色突变时迭代次数达 3 次,平均迭代次数为 1.38,满足跟踪实时性要求。

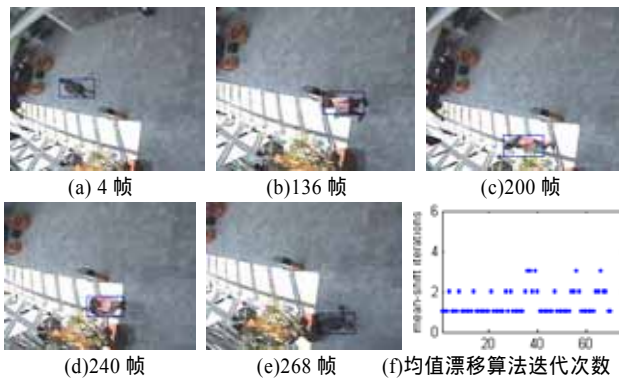


图 3 光照不均匀以及存在机动的跟踪结果

5.3 复杂情况下(遮挡、光照、尺度变化)的目标跟踪

复杂场景下目标在运动过程中频繁出现遮挡、光照变化。

如图 4(a)~图 4(b)所示,目标都在遮挡中,并且由于处在不同的亮区,因此形成不同的目标颜色。图 4(c)~图 4(d)目标颜色都在变化,并且可以看到目标尺度的实时更新。



图 4 复杂情况下(遮挡、光照、尺度变化)的目标跟踪

6 结论

本文针对复杂场景下目标跟踪的难点提出了改进的均值漂移算法,其特点有:

- (1)对符合模板颜色的运动,目标点不论其在直方图中的概率大小都赋最高权值,使目标最大限度地形成密度极值区,有效克服各种干扰影响。
- (2)非遮挡情况下实时更新颜色模板,使跟踪更为准确。
- (3)提出有效的分块检测遮挡算法,遮挡过程中不更新颜色模板,保证严重遮挡情况下跟踪的可靠性。
- (4)为克服静止背景对目标直方图统计以及均值漂移算法的影响,加入运动分割信息。

对多目标跟踪问题以及颜色模板更为紧密精确的表示是下一步要继续研究的工作。

参考文献

- 1 Comanicu D, Ramesh V, Meer P. Real-time Tracking of Non-rigid Objects Using Mean Shift[C]. Proceedings of the IEEE Conference on CVPR, Hilton Head, SC, USA, 2000: 142-149.
- 2 Comanicu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based Object Tracking[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- 3 Bradski G R. Computer Vision Face Tracking for Use in a Perceptual User Interface[EB/OL]. 1998. <http://developer.intel.com/technology/itj/archive/1998.htm>.
- 4 Stern H, Efron B. Adaptive Color Space Switching for Tracking Under Varying Illumination[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(3): 353-364.
- 5 Peng Ningsong, Yang Jie, Liu Zhi. Mean Shift Blob Tracking with Kernel Histogram Filtering and Hypothesis Testing[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(5): 605-614.
- 6 Cheng Yizong. Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- 7 李乡儒, 吴福朝, 胡占义. 均值漂移算法的收敛性[J]. 软件学报, 2005, 16(3): 365-374.