

基于联合直方图的自适应粒子滤波跟踪算法

刘少林^{1,2}, 朱文球^{1,2}, 孙文静^{1,2}, 王业祥^{1,2}

(1. 湖南工业大学 计算机学院, 湖南 株洲 412007;
2. 智能信息感知及处理技术湖南省重点实验室, 湖南 株洲 412007)

摘要:针对传统的粒子滤波跟踪算法在跟踪过程中由于目标形态不断变化以及目标被部分遮挡导致跟踪效果不理想的问题,提出了一种基于颜色纹理联合直方图特征融合的自适应粒子滤波算法。该算法从视觉特征集中选取全局特征(颜色直方图)与局部特征(LBP纹理直方图),组成目标颜色纹理联合直方图;将当前目标的联合直方图与初始目标的联合直方图的巴氏距离,作为粒子更新权重的依据,从而算法可以自适应地选取一组最优粒子集,并且以较少的粒子数目来保持算法的多样性,解决了传统粒子滤波算法中存在的粒子退化以及重采样过程中的粒子匮乏问题。实验结果表明,与传统的粒子滤波算法相比,该算法可以更鲁棒地跟踪部分遮挡和形态剧烈变化的运动目标。

关键词:目标跟踪;粒子滤波;颜色特征;纹理特征

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)06-0106-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.06.024

An Adaptive Particle Filtering and Tracking Algorithm Based on Joint Histogram

LIU Shao-lin^{1,2}, ZHU Wen-qiu^{1,2}, SUN Wen-jing^{1,2}, WANG Ye-xiang^{1,2}

(1. School of Computer, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;
2. Key Laboratory of Intelligent Information Perception and Processing Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: In order to solve the problem that traditional particle filter algorithm tracking the target is not ideal due to its appearance changing and partial occlusion, we propose an adaptive particle filtering algorithm based on joint histogram of color and texture. This algorithm selects the global feature (color histogram) and local feature (LBP texture) to combine color and LBP texture histogram. By calculating the Bhattacharyya distance of the current target combined histogram and the initial target combined histogram as the basis of particle update weight, it can not only select an optimal set of particles but also keep its diversity with a smaller number of particles then, which solves the problem of particle degradation and the shortage of particles in re-sampling process in the traditional particle filter algorithm. Experiment shows that compared with the traditional particle filter algorithm, the proposed algorithm can robustly track the moving target with changes of the appearance or partly occluded.

Key words: tracking target; particle filter; color histogram; texture histogram

0 引言

实时的运动目标跟踪算法一直是当今计算机视觉与图像处理领域中的一个热门研究领域,在日常生活以及科学研究中具有广泛的应用^[1-2]。目标在图像中的描述在目标跟踪中至关重要,通常采用的特征包括灰度、颜色、边缘和LBP纹理等^[3]。

1993年由Gordon等^[4]提出了一种基于贝叶斯理论的粒子滤波算法,但将其引入计算机视觉领域进行运动目标跟踪却是在1998年由Isard M等提

出^[5-6]。由于粒子滤波跟踪算法在处理非线性、非高斯问题时的独特优势,因此在目标跟踪领域受到了更多研究者的重视。但是,它的缺陷也是很明显的,即只有当粒子数量足够时,加权粒子才能更好地模拟后验概率分布,因此计算量十分大,无法保证算法的实时性,这使得它无法在目标跟踪中得到广泛的应用。为了解决粒子滤波计算量庞大的问题,近年来涌现出很多解决方法。其中,最常见的是将粒子滤波算法与快速收敛的mean shift算法^[7]相结合的Kernel粒子滤

收稿日期:2017-05-24

修回日期:2017-10-26

网络出版时间:2018-02-24

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2016RS2020)

作者简介:刘少林(1984-),男,硕士研究生,研究方向为计算机视觉;朱文球,教授,硕导,研究方向为图像处理、模式识别和深度学习。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180224.1510.006.html>

波^[8]。基于上述分析,文中提出一种基于颜色纹理联合直方图的自适应粒子滤波跟踪算法。

1 基础理论

1.1 颜色直方图模型

颜色直方图^[9-10]是一种全局特征,由于其计算简便、处理速度快、对目标尺度、旋转部分遮挡不敏感等优点而受到广泛应用。

假设被跟踪的目标是中心为 y_0 , 窗宽为 h 的矩形。文献[5]将目标在图像中的大小以及每一个像素点在矩形中所处的位置对直方图构建的影响体现在算法中,依据像素点在矩形中的位置分配不同的权值,位置离目标中心的距离越小其权值越大,权值函数为:

$$k(r) = \begin{cases} 1 - r^2, & r < 1 \\ 0, & r \geq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, r 为像素点位置到矩形中心的距离。

目标的加权颜色直方图为:

$$q_u(y) = C_h \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u] \quad (2)$$

其中, C_h 为归一化系数。

$$C_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (3)$$

1.2 LBP 纹理直方图模型

局部二值模式^[11](local binary pattern, LBP)是一种用来描述图像局部纹理特征的算子,具有灰度和旋转不变性且计算复杂度低等优点。

原始的 LBP 算子定义在 3×3 的窗口内,对比窗口中心像素与相邻的 8 个像素的灰度值,若周围像素值大于中心像素值,则该像素点赋值为 1,反之则为 0,从而得到一串二进制串,作为该像素点的 LBP 纹理特征值。计算公式如下:

$$\text{LBP}_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p \quad (4)$$

其中, P 为邻域像素的数目; R 为中心像素 x_i 与邻域像素的距离; g_c 为对应图像块中心的灰度; g_p 表示以 y_c 为圆心,半径为 R 的圆环上第 p 个等分点的灰度。函数 $s(x)$ 仅与像素点的相对灰度有关,不受像素整体亮度变化的影响。函数 $s(x)$ 的定义如下:

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq T \\ 0, & x < T \end{cases} \quad (5)$$

其中, T 为减轻噪声及局部灰度变化影响所设置的阈值。

1.3 巴氏距离

某一区域的颜色直方图 p^u 和目标颜色直方图 q^u 之间的相似性用巴氏距离^[9]来描述:

$$\rho[p, q] = \sum_{u=1}^M \sqrt{p^u q^u} \quad (6)$$

其中, $\rho \in [0, 1]$ 称为巴氏系数。

巴氏距离表示为:

$$d = \sqrt{1 - \rho[p, q]} \quad (7)$$

d 越小,表明该矩形为目标概率越高。

2 自适应粒子滤波跟踪算法

2.1 联合颜色纹理直方图

对于目标图像内的每一个像素点,可以根据式 4 定义的 LBP 算子^[12-13]计算出该点相对应的 $\text{LBP}_{P,R}^{\text{riu2}}$ 值,当 $P=8, R=1$ 时,取值范围为 $0 \sim 9$,即可以计算得到目标物体的纹理直方图。文献[13]只保留 5 种不平坦的均匀模式。文中对于纹理特征的计算采用如下定义的 $\text{LBP}_{8,1}^{\text{riu2}}$:

$$\text{LBP}_{8,1}^{\text{riu2}} = \begin{cases} \sum_{p=0}^7 s(g_p - g_c - r), & U(\text{LBP}_{P,R}) \leq 2 \\ \sum_{p=0}^7 s(g_p - g_c - r) \in \{2, 3, 4, 5, 6\} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

$$q_v^i = c \sum_{v=1}^{2^r} k\left(\left\|\frac{x_i - x_0}{h}\right\|^2\right) \delta[\text{LBP}(x_i) - v] \quad (9)$$

其中, r 为抗扰动因素, r 的绝对值越大,表明该值对于灰度变化越鲁棒。

式 8 表示的纹理特征只考虑目标区域中变化较为剧烈的像素点,可以很好地弥补颜色直方图特征的不足。联合式 8 的 $\text{LBP}_{8,1}^{\text{riu2}}$ 特征和式 9 的颜色特征,定义联合颜色纹理直方图为:

$$\begin{cases} q = \{q_u\}_{u=1, \dots, m} \\ q_u = C \sum_{i=1}^N k(\|x_i\|^2) \delta[\text{bin}(x_i) - u] \end{cases} \quad (10)$$

其中, $\text{bin}(x_i)$ 表示像素点 x_i 所在的颜色纹理直方图的区域; C 为归一化常量,该常量使得 $\sum_{u=1}^m q_u = 1$ 。

在维度的选取上,在实验中令 $m = 8 \times 8 \times 8 \times 5$,其中用前三维分别计算 HSV 颜色通道的值,第四维按照式 10 计算 5 种纹理模式中的值^[14]。

2.2 算法流程

粒子滤波的核心思想是利用一组带有权值的粒子 $\{S_k^{(i)}, W_k^{(i)}\}_{i=1}^N$ 近似表示 k 时刻目标状态的后验 PDF,每个粒子 $S_k^{(i)} = [x^{(i)}, y^{(i)}, x^{(i)}, y^{(i)}, w^{(i)}, h^{(i)}, w^{(i)}, h^{(i)}]$ 代表目标的一个可能状态,使用与目标在图像中的位置一致的矩形来表示 $w_k^{(i)}$ 对应粒子的后验 PDF,且

$\sum_{i=1}^{N_s} w_k^{(i)} = 1$ 。引入巴氏距离作为目标颜色纹理直方图与粒子区域量度。如式 7 所示, d 越小, 说明粒子所在区域的目标颜色纹理与目标颜色纹理直方图越相似, 从而将该粒子权值增大。由此可以推导出粒子 $S^{(i)}$ 的权值更新公式:

$$W^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{1 - \rho[p_s^{(i)}, q]}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

其中, $p_s^{(i)}$ 和 q 分别表示当前目标所在区域的联合直方图以及初始帧目标所在区域的联合直方图。

在算法重采样过程中, 不考虑权值小于阈值的粒子, 而将权值比阈值大的粒子, 按照粒子权值重新分配粒子。

基于联合直方图的自适应粒子滤波跟踪算法实现过程分为以下 4 个步骤:

步骤 1: 粒子初始化。粒子数的初始值设定为 N , $t = 0$ 时刻, 在初始帧手动框选跟踪区域, 根据式 10 得到目标的颜色纹理直方图表达式 $q^{(u)}$ 。

步骤 2: 状态预测。粒子通过运动模型进行传播, 使用的运动模型如下:

$$X_t = X_{t-1} + V_{t-1} \quad (12)$$

其中, V_{t-1} 为一个高斯随机变量。

步骤 3: 权值更新。

(1) 利用式 10 计算经过运动传播之后新粒子所在区域的颜色纹理直方图 $P^{(u)}$ 。

(2) 利用式 7 计算巴氏距离 d 。

(3) 利用式 11 计算更新权重, 并归一化权值。

步骤 4: 重采样。在更新区域生成一组新的粒子 $\{S_k^{(i)}, W_k^{(i)}\}_{i=1}^N$ 。

(1) 计算标准累加概率 c_k^* 。

$$c_k^{(0)} = 0, \dots, c_k^{(i)} = c_k^{(i-1)} + W_k^{(i)} \quad (13)$$

$$c_k^{*(i)} = c_k^{(i)} / \sum_{i=1}^N c_k^{(i)} \quad (14)$$

(2) 生成一组服从均匀分布的随机数 $u \sim U(0, 1)$ 。

(3) 找到最小的 j , 使得 $c_k^{*(j)} \geq u$ 。

(4) 令 $S_{k-1}^{*(i)} = S_{k-1}^{(j)}$ 。

步骤 5: 输出。目标状态的均值估计为:

$$E(S_k) = \sum_{i=1}^{N_s} W_k^{(i)} S_k^{(i)} \quad (15)$$

3 实验与分析

为了验证提出的跟踪算法的性能, 在主频为 3.30 GHz、内存为 8 G 的 PC 机上使用 VS2013 编程实现。实验过程中第一帧使用鼠标指定待跟踪目标, 分别使用传统的粒子滤波算法与文字中算法进行目标跟踪, 跟踪效果分别如图 1、图 2 所示。

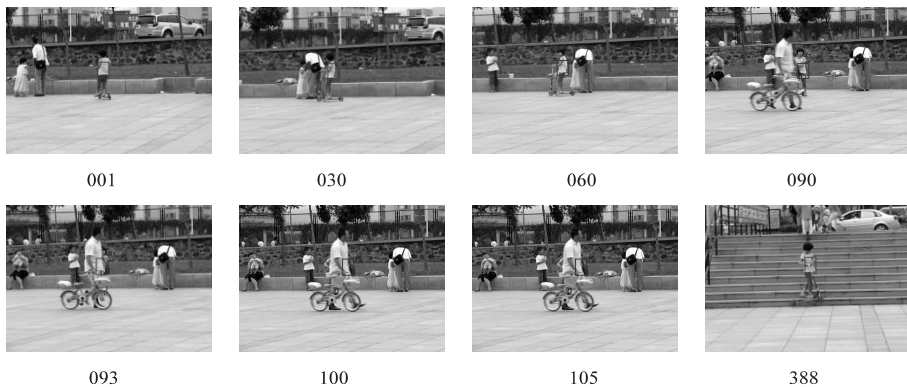


图 1 传统的粒子滤波算法

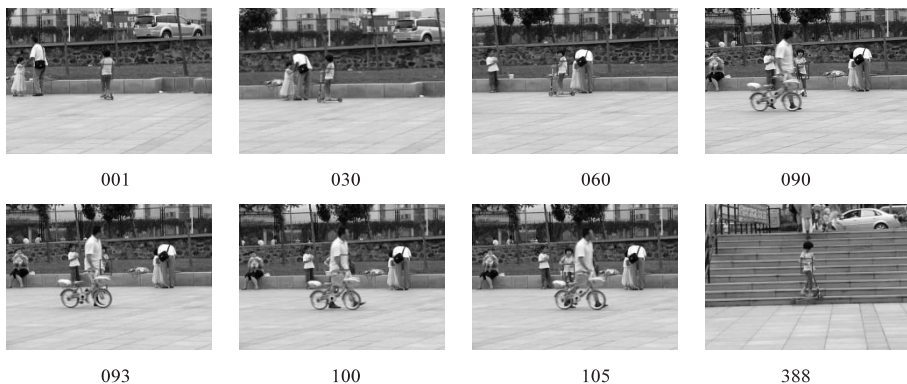


图 2 基于颜色纹理联合直方图的自适应粒子滤波跟踪算法

传统的粒子滤波算法由于目标被部分遮挡导致跟踪效果不理想,如图1中第93~105帧所示,后续帧中算法不断在图像中搜索目标,最终在第388帧中正确锁定目标。改进算法由于采用颜色纹理直方图进行跟踪,稳定性有了保障,最终实现对目标物体鲁棒的跟踪,如图2第93~388帧所示。

两种算法在处理速度、平均迭代次数以及成功率的对比如表1所示。实验数据表明,改进算法虽然损失了处理速度,但还是满足实时性的要求,并且跟踪结果更加可靠和鲁棒。

表1 算法性能对比结果

指标	传统粒子滤波算法	自适应粒子滤波算法
每秒处理帧数	35	30
成功率/%	98	67

4 结束语

提出了一种基于联合颜色与纹理特征直方图的自适应粒子滤波目标跟踪算法,在利用空间颜色特征的基础上,加入了改进的LBP纹理特征,增强了目标特征的描述。多个不同场景的室内外实验表明,与经典的粒子滤波跟踪算法相比,该算法在抗相似目标的干扰上更加可靠和鲁棒。

参考文献:

[1] YILMAZ A, JAVED O, SHAH M. Object tracking: a survey [J]. ACM Computing Survey, 2006, 38(4): 13.

[2] TREPTOW A, ZELL A. Real-time object tracking for soccer-robots without color information[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2004, 48(1): 41-48.

[3] NUMMIARO K, KOLLER-MEIER E, GOOL L V. An adaptive color-based particle filter [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(1): 99-110.

[4] GORDON N J, SALMOND D J, SMITH A F M. Novel ap-

proach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation [C]//IEEE proceedings F (radar and signal processing). [s. l.]: IET, 1993: 107-113.

[5] ISARD M, BLAKE A. ICONDENSATION: unifying low-level and high-level tracking in a stochastic framework [C]//European conference on computer vision. [s. l.]: [s. n.], 1998: 893-908.

[6] MENG Bo, ZHU Ming. Nonlinear object tracking using particle filter[J]. Optics & Precision Engineering, 2007, 15(9): 1421-1426.

[7] 董恩增, 苏丽娅, 付艳红, 等. 融合颜色纹理特征的自适应粒子滤波跟踪算法[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(4): 1182-1184.

[8] DEGUCHI K, KAWANAKA O, OKATANI T. Object tracking by the mean-shift of regional color distribution combined with the particle-filter algorithm [C]//International conference on pattern recognition. Cambridge, UK: IEEE, 2004: 506-509.

[9] 庄严, 战洪斌, 王伟, 等. 基于加权颜色直方图和粒子滤波的彩色物体跟踪[J]. 控制与决策, 2006, 21(8): 868-872.

[10] 张楠, 蔡念, 张海员. 基于空间直方图的粒子滤波目标跟踪算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(21): 210-213.

[11] 刘豪, 杨永全, 郭仙草, 等. 用于纹理特征提取的改进的LBP算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(6): 182-185.

[12] NING Jifeng, ZHANG Lei, ZHANG D, et al. Robust object tracking using joint color-texture histogram [J]. International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence, 2011, 23(7): 1245-1263.

[13] 于亚风, 刘光帅, 马子恒, 等. 用于纹理特征提取的改进的成对旋转不变共生局部二值模式算法[J]. 计算机应用, 2016, 36(12): 3389-3393.

[14] 王保云, 范保杰. 基于颜色纹理联合特征直方图的自适应Meanshift跟踪算法[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2013, 33(3): 18-25.

(上接第105页)

[10] CLOUGH P, TANG Jiayu, HALL M M, et al. Linking archival data to location: a case study at the UK National Archives [J]. Aslib Proceedings, 2011, 63(2-3): 127-147.

[11] YUSOFF N M R N, SHAFRI H, MUNIANDY R. An effective road management system using web-based GIS software [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2014, 20(1): 012025.

[12] 顾振雄. 基于Leaflet开源JS类库的在线图形编辑[J]. 地理空间信息, 2017(3): 74-76.

[13] 王世江, 张曙明. 中国新疆河湖全书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.

[14] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典·西北诸河卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.

[15] 李仁杰, 傅学庆, 张军海. 非物质文化空间数据库与地图表达方法—基于蔚县剪纸的实证研究[J]. 人文地理, 2014, 29(1): 20-25.

[16] 张贵军, 陈铭. WebGIS工程项目开发实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 289-230.

[17] 刘玉栋. 基于WebGIS的城市地下电力管线管理系统设计与开发[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2014.

[18] 杜艳琴, 党宏波, 武泽江. 基于WebGIS的城镇基准地价查询系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2016, 14(9): 77-78.

[19] 张建立, 李仁杰, 傅学庆, 等. 古诗词文本的空间信息解析与可视化分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 890-897.