

基于积分协方差矩阵的粒子滤波目标跟踪

顾鑫,王华,李喆,李志国,王倩,邓志均
(中国运载火箭技术研究院研究发展中心,北京 100076)

摘要:仅利用单一特征的目标跟踪难以克服光照和目标形变等外部条件变化,给出一种基于协方差区域描述子的粒子滤波,协方差描述子可融合目标区域内的多种特征处理复杂背景下的目标跟踪问题,提高跟踪的鲁棒性;针对粒子滤波计算量大的问题,引入积分协方差矩阵计算,提高跟踪的实时性,对比实验表明新的跟踪算法比仅用单一特征跟踪鲁棒性更高,处理速度更快。

关键词:目标跟踪;粒子滤波;协方差区域描述子;积分协方差矩阵

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.12.019

Particle filter target tracking based on integral covariance matrix

GU Xin, WANG Hua, LI Zhe, LI Zhi-guo, WANG Qian, DENG Zhi-jun

(China Academy of Launch Vehicle Technology Research and Development Center, Beijing 100076, China)

Abstract: The target tracking only using single feature is difficult to overcome the influence of external conditions such as the illumination and target deformation etc., a particle filter target tracking algorithm based on the covariance region descriptor is proposed. The covariance descriptor can fuse different features of the target region to handle target tracking under complex background. And then, the tracking robustness is improved. Moreover, aiming at the problem that calculation of particle filter is large, the integral covariance matrix computation is introduced to Bayesian tracking framework, which makes the tracking process realtime. The comparative experiments show that the proposed algorithm is more robust and faster than the single feature tracking.

Key words: object tracking; particle filter; covariance region descriptor; integral covariance matrix

1 引言

目标跟踪在众多领域都有应用,如视频监控、运动目标捕捉、飞行器自主导航等^[1]。在实际应用中,目标跟踪会面临着各种环境的干扰,跟踪的鲁棒性会受到影响^[2]。

目标跟踪的一个核心是选择表征目标的特征,常用跟踪算法仅选取颜色、光流等单一特征表征目标,由于跟踪系统的复杂性,单一特征跟踪鲁棒性较低^[2]。本文采用一种可融合目标灰度、梯度和空间位置分布的协方差矩阵来表征目标,该特征不含特征点数量和顺序信息,对目标旋转、尺度变化及光线变化都具有较强适应性^[3]。跟踪在实际应用中的另一个重要问题是计算的实时性,为了提高计算效

率,本文在粒子滤波的框架下引入积分图的概念,用协方差矩阵表征目标,实现对目标的跟踪。

2 协方差区域描述子

协方差区域描述子的表征如图1所示,令 I 为图像帧,从 I 中提取一个大小为 $W \times H \times d$ 维的特征图像:

$$F(x, y) = \Phi(I, x, y) \quad (1)$$

其中, Φ 表示任意一种映射, $N = W \times H$,区域 R 用

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61305049; No. 61370039)资助。

作者简介:顾鑫(1986-),男,硕士,工程师,主要研究方向为自动目标检测,目标跟踪。E-mail: nync396@126.com

收稿日期:2014-09-03; **修订日期:**2014-09-16

$d \times d$ 维的协方差矩阵表示^[4]:

$$C_R = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (f_i - \mu_R)(f_i - \mu_R)^T \quad (2)$$

其中 μ_R 是区域 R 内像素点的均值; N 表示像素点的数目。

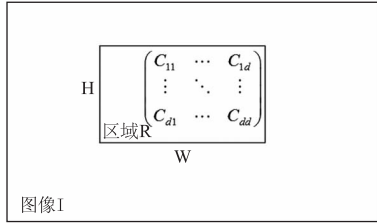


图1 协方差矩阵表征目标区域示意图

3 基于协方差区域描述子的目标跟踪

3.1 积分协方差矩阵计算

粒子滤波算法中的每个粒子用协方差矩阵来表征,计算复杂度太高,难以实现实时运算,为了实现快速计算,引入积分图的概念^[5],将式(2)中的均值 μ 代入展开得:

$$C_R(i,j) = \frac{1}{N-1} \cdot \left[\sum_{n=1}^N (f_{ni} \cdot f_{nj}) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f_{ni} \sum_{n=1}^N f_{nj} \right] \quad (3)$$

将上式中累积和 $\sum_{n=1}^N f_{ni}$, $\sum_{n=1}^N f_{nj}$ 及特征乘积的累加和 $\sum_{n=1}^N (f_{ni} \cdot f_{nj})$ 转化为积分图形式求解,定义 d 维特征积分图 P 和 d^2 维特征乘积积分图 Q :

$$P_i(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} F_i(x',y') \quad (4)$$

$$Q_{ij}(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} F_i(x',y') F_j(x',y') \quad (5)$$

定义向量 $P_{x,y}$ 和矩阵 $Q_{x,y}$:

$$P_{x,y} = [P_1(x,y), \dots, P_d(x,y)]^T \quad (6)$$

$$Q_{x,y} = \begin{pmatrix} Q_{11}(x,y) & \dots & Q_{1d}(x,y) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{d1}(x,y) & \dots & Q_{dd}(x,y) \end{pmatrix} \quad (7)$$

通过积分图计算 $P_{x,y}$ 和 $Q_{x,y}$, 则区域 $R(0,0,x'',y'')$ 的表征因子计算如下:

$$C_R(0,0,x'',y'') = \frac{1}{N-1} \left[Q_{x'',y''} - \frac{1}{N} P_{x'',y''} P_{x'',y''}^T \right] \quad (8)$$

其中, $N = (x'' + 1) \times (y'' + 1)$, 经过一系列的变换可以得到区域 $R(x',y',x'',y'')$ 内的协方差区域描述因子为:

$$C_R(x',y',x'',y'') = \frac{1}{N-1} \cdot$$

$$(Q_{x',y'} + Q_{x'',y''} - Q_{x',y''} - Q_{x'',y'}) - \frac{1}{(N-1)N} \cdot$$

$$(P_{x',y'} + P_{x'',y''} - P_{x',y''} - P_{x'',y'}) \cdot$$

$$(P_{x',y'} + P_{x'',y''} - P_{x',y''} - P_{x'',y'})^T \quad (9)$$

3.2 协方差矩阵之间的度量

两协方差矩阵的相似度用两者之间的距离来度量^[6]:

$$\rho(C_i, C_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^d \ln^2 \lambda_k(C_i, C_j)} \quad (10)$$

$$\lambda_k C_i x_k - C_j x_k = 0 \quad (k = 1, \dots, d) \quad (11)$$

其中, x_k 为广义特征向量; $\lambda_k(C_i, C_j)$ 是广义特征值,每个粒子的观测概率定义为:

$$p(z^i | x) \propto \exp(-\lambda_i \rho_i^2(C_{mod}, C_{tar})) \quad (12)$$

式中, C_{mod} 和 C_{tar} 分别为目标模板和每个观测粒子的协方差矩阵。

3.3 算法流程

本文算法实现流程如下:

(1) 根据目标初始状态 x_0 , 计算协方差矩阵模板 C_0 , 令 $\{w_{0,i} = \frac{1}{N}\}_{i=1}^N$;

(2) 预测: 由 $x_t = Ax_{t-1} + W$, 预测下一帧状态 \hat{x}_t ;

(3) 在目标状态 x_{t-1} 周围一定区域内计算每个粒子的协方差矩阵及其观测概率;

(4) 更新: 根据每个粒子的观测概率, 计算粒子权值 $w_{t,i} = w_{t-1,i} p(z_t | x_{t,i})$;

(5) 计算目标的当前估计状态: $\bar{x}_t = \sum_{i=1}^N w_{t,i} x_{t,i}$;

(6) 判断是否需要重采样, 若需求则从 $\{x_{t,i}\}_{i=1}^N$ 中重采样 N 次, 令所有粒子权重为 $1/N$, 否则不做处理;

(7) 转向步骤(2)。

4 仿真试验结果

用目标区域内的每个像素点位置、灰度、一阶导数和二阶导数等 9 维特征向量得出一个 9×9 协方差矩阵。为了验证算法的普适性, 在数据源的选取上, 选择在公共视频集上进行验证, 该视频集共 773 帧, 图像的大小为 640×480 。在同一数据源上, 针对同一目标, 在人工标定初始位置的前提下, 分别进行颜色跟踪、边缘跟踪和本文算法跟踪的仿真。如图 2 所示, 第一行是选择颜色作为目标区域描述子的实验结果, 第二行为选择边缘作为目标区域描述子的实验结果, 第三行为本文算

法跟踪的结果。在第725帧,由于跟踪目标进入阴影区,光线发生较大变化,导致目标的颜色特征发生较大变化,颜色跟踪失效,本文算法和边缘跟踪可以一直跟踪目标。在第758帧,目标受到部分树木的遮挡,背景周围存在较大边缘特征的干扰,导致了边缘跟踪跟丢目标,协方差描述子中除了梯度特征外,还有灰度特征,因此本文算法可以稳定跟踪目标。



图2 试验结果

表1是三种实验结果的对比,由于相似目标、背景边缘等外界因素干扰,单个特征(如颜色、边缘)的跟踪结果往往是不稳定的,通常情况下难以确定哪种特征的跟踪效果更好。协方差矩阵包含目标区域每个像素点的位置信息,当特征的分布产生平移,对协方差矩阵的影响较小,因此该特征对光线变化不敏感。协方差矩阵中除了有目标区域每个像素点的梯度外,还包含了目标的灰度特征,因此对边缘干扰有一定的纠错能力。

表1 试验结果对比

	颜色跟踪	边缘跟踪	本文算法
跟踪结果	第725帧(跟丢)	第758帧(跟丢)	无丢失
帧率(f/s)	11.3	13.8	18.5

本文中的所有算法均在 Intel (R) Core (TM) i7 2.93 GHz 4G 内存计算机上用 Matlab R2010a 仿真实现。本文的三种算法粒子数目均为 100, 采样点数均为 120, 表1给出了不同算法的跟踪速度(帧/秒),

由表1可知,本文算法的复杂度比颜色跟踪及边缘跟踪的算法复杂度都低,计算效率更高。

5 结论

本文提出了一种基于积分协方差矩阵的粒子滤波目标跟踪,协方差矩阵可融合目标区域的不同特征实现复杂背景下目标的稳定跟踪,利用积分图实现区域协方差快速计算。试验证明本文的跟踪结果较单一特征跟踪结果更稳定,算法的计算复杂度低,计算实时性更好。本文的跟踪算法除了可以在公共安全、视频监控等领域应用外,还可用于视觉导航、视觉导航、自主定位等方面。

参考文献:

- [1] HOU Zhiqiang, HAN Chongzhao. A survey of visual tracking[J]. Acta Automatica Sinica, 2006, 32(4): 603-617. (in Chinese)
侯志强, 韩崇昭. 视觉跟踪技术综述[J]. 自动化学报, 2006, 32(4): 603-617.
- [2] GU Xin, WANG Haitao, WANG Lingfeng, et al. Fusing multiple features for object tracking based on uncertainty measurement[J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37(5): 550-559. (in Chinese)
顾鑫, 王海涛, 汪凌峰, 等. 基于不确定性度量的多特征融合跟踪[J]. 自动化学报, 2011, 37(5): 550-559.
- [3] F Porikli, O Tuzel, P Meer. Covariance tracking using model update based on lie algebra[J]. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 2006, pages: 728-735.
- [4] LI Shaojun, LI Liren, LIU Zhongling, et al. Terminal guidance target tracking based on region covariance matrix[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(3): 330-333. (in Chinese)
李少军, 李立仁, 刘忠领, 等. 基于区域协方差矩阵的末制导目标跟踪[J]. 激光与红外, 2010, 40(3): 330-333.
- [5] F Porikli. Integral histogram: a fast way to extract histograms in cartesian spaces[J]. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005, 829-836.
- [6] W Forstner, B Moonen. A metric for covariance matrices technical report, dept of geodesy and geoinformatics[J]. Stuttgart University, 1999.