

文章编号:1007-2780(2016)12-1143-06

结合自适应核函数的 Mean-shift 改进算法

赵云峰*

(中国人民解放军 91245 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:为解决 Mean-shift 算法采用固定跟踪窗口造成的目标定位精度低的问题,结合视觉显著性检测和像素灰度相似度,提出一种采用自适应核函数的 Mean-shift 跟踪算法。该方法以灰度相似度加权的视觉显著性特征确定目标区域,并结合 Epanechnikov 核函数构建自适应核函数,使跟踪窗口自适应目标大小变化,降低目标尺度变化的影响,实现目标的有效跟踪。实验结果证明,该方法能够有效跟踪尺度变化目标,处理每帧图像耗时小于 25 ms,满足实时性需求。

关键词:自适应核函数; Mean-shift; 视觉显著性

中图分类号:TP394.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163112.1143

Improved mean-shift algorithm combined with adaptive kernel function

ZHAO Yun-feng*

(The People's Liberation Army 91245, Huludao 125000, China)

Abstract: In order to solve the problem of Mean-shift algorithm caused by the fixed track window, an improved Mean-shift algorithm using adaptive kernel function is proposed. Visual saliency weighted by the gray similarity is detected to ascertain the object area, and the adaptive kernel function is designed to track object combined with Epanechnikov and the object area, reducing the effect of fixed track window and background pixels. After plenty of experiments, the results show that the proposed method can track object scale motions in real time and exactly, and cost less than 25 ms for every frame.

Key words: adaptive kernel function; Mean-shift; visual saliency

1 引言

作为计算机视觉研究热点之一,目标跟踪技术在智能交通、智能机器人、激光通信、精确制导等领域有着广泛应用^[1-3]。

为实现对运动目标实时、有效跟踪,跟踪算法

应耗时短并对目标姿态变化有较强的鲁棒性。目前常用跟踪算法主要有以粒子滤波为代表的基于滤波和数据关联的跟踪算法和以 Mean-shift 为代表的基于目标建模的跟踪算法^[4-5]。粒子滤波的计算复杂度与粒子数成正比,严重依赖参数选取且收敛速度相对较慢;Mean-shift 是一种无参密度估计算法计算复杂度低,跟踪效果良好,得到

收稿日期:2016-11-18;修订日期:2016-12-02.

* 通信联系人, E-mail: zhaoyfeng2002@163.com

了广泛应用。但 Mean-shift 算法跟踪窗口大小固定,无法适应目标的尺度变化,导致目标定位偏差。

本文结合像素的灰度相似度和视觉显著性检测,提出一种采用自适应核函数的 Mean-shift 跟踪算法,强化目标区域像素对跟踪精度的影响,减少参与计算的背景像素数,并克服目标尺寸变化,构建大小自适应的跟踪窗口进行跟踪。实验表明本文方法能够有效克服目标变化和背景干扰,提高目标定位精确度。

2 Mean-shift 算法

Mean-shift 算法是利用灰度直方图对目标特性进行建模,并在候选区域不断迭代寻找与目标模型相似性最大的点,作为被目标位置,主要包括:

2.1 初始目标特征

在目标跟踪过程中,目标特征量可通过核函数加权的灰度直方图进行描述,如式(1):

$$q_u = C \sum_{i=1}^N \left\{ k \left(\left\| \frac{X_i - X_*}{h} \right\|^2 \right) \cdot \delta[l(X_i) - u] \right\} \quad u \in \{1, \dots, m\}, \quad (1)$$

其中: X_i 为初始目标区域像素序列, X_* 为序列的中心像素; N 为像素数; m 为直方图灰度级; $\delta(\cdot)$ 为 delta 函数; $l: R^2 \rightarrow \{1, \dots, m\}$ 为灰度直方图映射, C 为归一化常数,使 $\sum q_u = 1$ 。 $k(x)$ 是剖面函数,窗宽为 h , $\|\cdot\|$ 表示范数。在本文中核函数选择 Epanechnikov 函数,如式(2):

$$K_E(x) = \begin{cases} c(1 - \|x\|^2) & \|x\| \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases}. \quad (2)$$

2.2 候选目标区域特征

候选目标区域特征与初始目标特征计算相似, $\{Y_i\}_{i=1, \dots, N_h}$ 为候选目标区域的像素序列, y_0 中心位置像素。候选模型可表示为:

$$p_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{N_h} \left\{ k \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \cdot \delta[b(Y_i) - u] \right\} \quad u \in \{1, \dots, m\}. \quad (3)$$

2.3 目标特征相似性的判定

本文使用 Bhattacharyya 系数表征 $p_u(y)$ 与 q_u 的相似程度。如式(4):

$$\rho(y) = \rho[p_u(y), q_u] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y) \cdot q_u}, \quad (4)$$

其中: ρ 的值在 $0 \sim 1$ 之间,值越大,表示候选目标区域与目标模板相似度越高。在 $p(y)$ 处对上式进行泰勒展开,则相似性函数可近似表示为:

$$\rho[p_u(y), q_u] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y) \cdot q_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{N_h} \left[w_i k \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \right], \quad (5)$$

其中: $w_i = \sum_{u=1}^m \{ \delta[l(X_i) - u] \sqrt{q_u / p_u(y)} \} \quad u \in \{1, \dots, m\}$ 。

2.4 目标定位

候选目标新的位置可通过求解相似性函数最大值进行确定,如式(6):

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} \left[X w_i g \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \right]}{\sum_{i=1}^{N_h} \left[w_i g \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \right]}, \quad (6)$$

式中: $g(x) = -k'(x)$ 。通过判断候选目标新的位置确定最佳目标位置:若满足 $\|y_1 - y\| < \varepsilon$, 则返回当前目标位置作为最佳目标位置,否则以 y_1 代替 y_0 ,进行迭代,考虑实时性要求,本文中迭代次数为 20。

Mean-shift 算法的跟踪窗口大小固定,无法自适应目标大小的变化,导致跟踪窗口无法容纳完整的目标区域或包含过多的背景像素,严重降低对目标的跟踪精度。

3 改进的 Mean-shift 算法

针对 Mean-shift 算法跟踪窗口大小固定,无法自适应目标大小变化,导致算法跟踪精度降低的弊端,本文基于目标的灰度相似性与视觉显著性特征提出一种采用自适应核函数的改进 Mean-shift 算法。该方法通过灰度相似性与视觉显著性特征确定目标区域,并结合 Epanechnikov 函数构建自适应目标大小变化的核函数,使跟踪窗口能够自适应目标大小变化,克服了目标大小变化对算法跟踪精度的影响,并弱化了背景像素的干扰,提高了目标的定位精度。

3.1 视觉显著性检测

视觉显著性是图像不同区域受注意程度的客观体现,通常目标位于图像显著性区域中^[6-7]。本文利用频率调整算法^[8]对图像的视觉显著性进行检测,频率调整算法可表示为:

$$S(x, y) = \left\| I_{\mu} - I(x, y) \right\|, \quad (7)$$

式中: S 表示视觉显著度, I_{μ} 为灰度平均值。

3.2 像素灰度相似性

目标与背景区分明显,在目标主体范围内,目标灰度具有极高的相似性。利用图像灰度信息,构建像素灰度相似性 E 。

$$E = a \times I^2 + b \times I + c, \quad (8)$$

$$a = \begin{cases} \frac{-1}{(I_{\min} - I_{\text{mnt}})^2} & I_{\text{mnt}} > \frac{I_{\min} + I_{\max}}{2} \\ \frac{-1}{(I_{\max} - I_{\text{mnt}})^2} & I_{\text{mnt}} \leq \frac{I_{\min} + I_{\max}}{2} \end{cases}, \quad (9)$$

$$b = -2a \times I_{\text{mnt}}, \quad (10)$$

$$c = 1 + a \times I_{\text{mnt}}^2, \quad (11)$$

式中: I 为图像像素灰度值, I_{\max} 和 I_{\min} 为图像中最大和最小灰度值, I_{mnt} 为参考点灰度值。像素归属感体现了像素灰度与目标区域像素灰度的相似程度。

3.3 自适应核函数构建

本文以上一帧目标位置为中心,以 2 倍目标大小在当前帧中确定目标候选区域,对该区域计算灰度相似度和视觉显著度,最终以灰度相似度加权的视觉显著特性图确定目标区域。

$$M = E \star S.$$

二值化目标图像并进行形态学处理及连通性分析,克服噪声干扰,突出目标区域,即:

$$M'(i, j) = \begin{cases} 1 & M(i, j) \geq th \\ 0 & M(i, j) < th \end{cases}, \quad (12)$$

其中: $th = \sum M / num$, num 为视觉显著特性图 M 的非零值个数。

结合 Epanechnikov 核函数及目标区域二值图,进行自适应核函数构建,窗口中心为目标区域中心位置。

$$k_{\text{new}} \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) = k \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \star M'. \quad (13)$$

在自适应核函数的构建中核函数带宽与目标的大小一致,背景像素权值为 0,而目标像素权值与 Epanechnikov 函数值相同。通过构建自适应核函数,使 Mean-shift 算法自适应目标尺度变化,并弱化了背景像素的影响,提高了目标的定位精度。改进的 Mean-shift 算法目标特性可描述为:

$$p_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{N_h} \left\{ k_{\text{new}} \left(\left\| \frac{Y_i - Y_0}{h} \right\|^2 \right) \cdot \delta[b(Y_i) - u] \right\} \quad u \in \{1, \dots, m\}. \quad (14)$$

4 实验结果与分析

针对本文提出的算法,在内存为 8GB, CPU 为 Intel(R)Core(TM)i5-4210u@2.7GHz 的工控机上进行验证,实验中分别对与背景相近的船舶、尺度变化的汽车及遮挡的行人目标进行跟踪,并与传统 Mean-shift 算法进行对比,实验图像大小均为 720 pixel × 576 pixel。

第一组实验以船舶目标对传统 Mean-shift 和本文算法进行对比实验,如图 1、图 2 所示。跟踪过程中目标大小不变,目标与背景灰度分布接近。由于船舶目标与海洋背景灰度特性相似并存在海杂波的干扰,较多的背景像素参与计算,导致传统 Mean-shift 算法的跟踪窗口产生较大偏差,不能完整容纳目标,并逐渐向船尾移动。本文算法结合利用图像视觉显著性提取目标区域,减少参与计算的背景像素数克服背景干扰,较准确的对目标进行定位,同时跟踪窗口能够较完整地容纳目标。

第二组实验以汽车为目标进行实验,如图 3、图 4 所示。目标与背景对比度较大,存在较多的非目标干扰,且目标尺度不断增大。在实验中,传统 Mean-shift 算法以固定跟踪窗进行目标跟踪,随着汽车大小的不断增加,跟踪窗不能完整的容纳目标,逐渐偏离目标主体,最终导致目标跟踪失败。而本文方法通过像素归属感计算以及视觉显著特性检测,能够较完整地提取目标区域,跟踪窗的大小随着目标大小而变化,实现目标的有效跟踪。

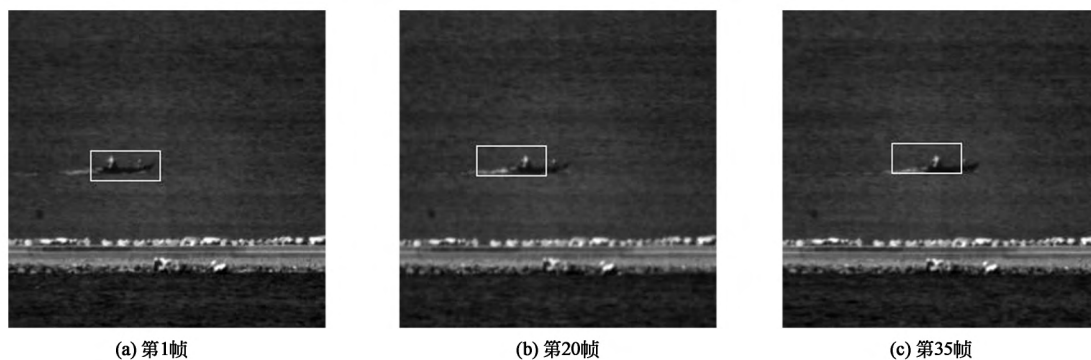


图 1 传统 Mean-shift 算法跟踪与背景相似的船舶

Fig.1 Tracking ships with similar backgrounds by traditional Mean-shift algorithm

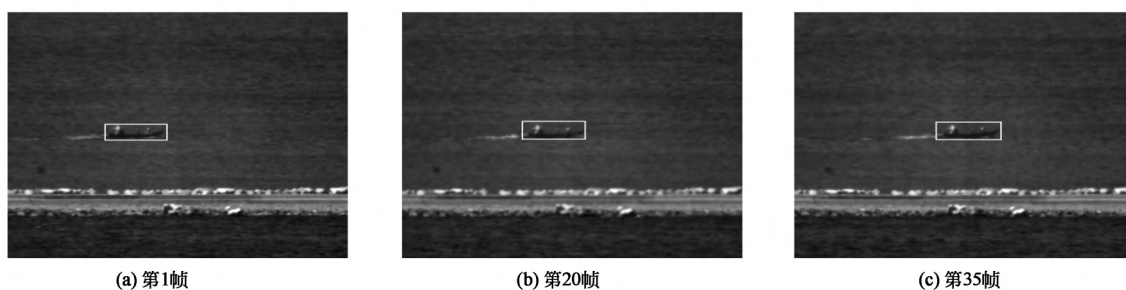


图 2 本文方法跟踪与背景相似的船舶

Fig.2 Tracking ships with similar backgrounds by this article method



图 3 传统 Mean-shift 跟踪尺度变化的汽车

Fig.3 Tracking cars with scales change by traditional Mean-shift algorithm



图 4 本文方法跟踪尺度变化的汽车

Fig.4 Tracking cars with scales change by this article method

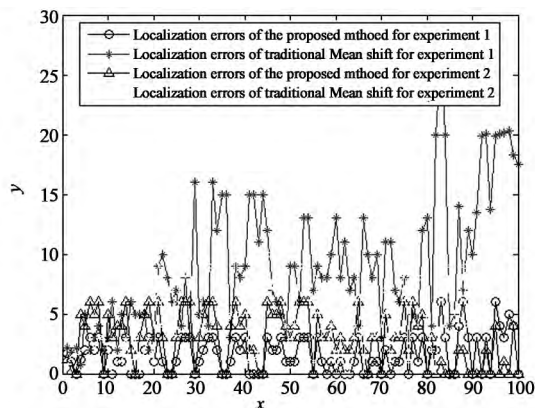


图 5 定位误差统计

Fig.5 Statistics of positioning error

表 1 算法耗时统计

Tab.1 Algorithm time-consuming statistics

算法	传统 Mean-shift	本文算法
实验一耗时/ms	18.8	21.5
实验二耗时/ms	17.4	23.7

分别对实验一和实验二进行本文算法、传统 Mean-shift 算法的定位偏差与耗时进行平均值统计。图 5 为两种算法的定位偏差统计。定位偏差可由式(15)得出。其中 (x_i, y_i) 为算法定位值, (x_c, y_c) 为目标的实际中心位置。通过比较,明显

可以看出无论目标尺度变化与否,本文方法都能得到较高的定位精度,而传统方法在目标尺度变化时定位精度较低,即使目标尺度不变,精度也低于本文算法。

$$\text{error}_i = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (15)$$

表 1 所示为两种算法的耗时平均值统计。本文算法虽然需要进行图像显著性检测,增加了一定耗时。由于本文算法的目标定位准确度比传统 Mean-shift 算法有较大提高,每帧算法的迭代次数降低,因此实验中本文算法的整体耗时比传统 Mean-shift 算法略有提高。

4 结 论

针对传统 Mean-shift 算法跟踪窗尺度不变,跟踪精度低的问题,提出了一种结合自适应核函数的 Mean shift 跟踪算法。该方法对图像进行视觉显著性检测,结合像素归属度确定目标区域并构建自适应核函数,降低背景像素和目标尺度变化的影响。实验结果表明,本文方法能够有效克服目标尺度变化及背景像素的干扰,对目标进行有效跟踪,定位精度比传统 Mean shift 算法有较大提高,处理每帧图像平均耗时小于 25 ms,满足实时性需求。

参 考 文 献:

- [1] 薛陈,朱明,陈爱华,鲁棒的基于改进 Mean-shift 的目标跟踪算法[J].光学 精密工程,2010,18(1):234-239.
XUE C, ZHU M, CHEN A H. Robust object tracking based on improved Mean-shift algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(1): 234-239. (in Chinese)
- [2] 刘晴,唐林波,赵保军,等.改进的 mean shift 目标跟踪算法[J].系统工程与电子技术,2013,35(6):1918-1923.
LIU Q, TANG L B, ZHAO B J, et al. Improved mean shift target tracking algorithm [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2013, 35(6): 1918-1923. (in Chinese)
- [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] 郭敬明,何昕,杨杰,等.模板自适应的 Mean Shift 红外目标跟踪[J].红外与激光工程,2014,43(4):1087-1093.
GUO J M, HE X, YANG J, et al. Infrared target tracking based on template adaptive Mean Shift [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4): 1087-1093. (in Chinese)
- [5] COMANICIU D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619.
- [6] 宋修锐,吴志勇.图像通用目标的无监督检测[J].光学 精密工程,2014,22(1):160-168.
SONG X R, WU Z Y. Unsupervised detection of image object with any class [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(1): 160-168. (in Chinese)
- [7] 胡德昆.基于生物视觉感知机制的图像理解技术研究[D].成都:电子科技大学,2012.

- HU D K. *The research on technology of image understanding based on biological visual perception* [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2012. (in Chinese)
- [8] ACHANTA R, HEMAMI S, ESTRADA F, et al. Frequency-tuned salient region detection [C]// *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Miami, FL: IEEE, 2009: 1597-1604.

作者简介: 赵云峰(1972—), 男, 河南新郑人, 硕士, 高级工程师, 主要从事图像处理、智能仪器及光学测量研究。E-mail: zhaoyfeng2002@163.com