

基于多特征 Mean-Shift 的灵巧弹药 末制导跟踪算法

聂振钢^{1,3}, 孙协昌^{2,3}, 梁银川^{2,3}

(1 北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081;

2 航天恒星科技有限公司, 北京 100086; 3 天地一体化信息技术国家重点实验室(筹), 北京 100086)

摘 要: 针对灵巧弹药在复杂背景下跟踪目标的问题, 将跟踪目标颜色信息和边缘信息进行融合, 提出了一种基于多特征的 Mean-Shift 跟踪算法, 从而解决了复杂背景下跟踪目标的鲁棒性问题. 应用色差空间表示跟踪目标的颜色信息, 同时引入边缘信息表示跟踪目标的纹理信息, 从而可以有效解决复杂背景下 Mean Shift 跟踪鲁棒性问题. 应用色差空间代替色调空间, 并用反映射方法求解加权值, 从而节省了运算复杂度, 满足实时性要求. 实验结果表明, 改进算法跟踪性能较经典 Mean Shift 法具有明显提高, 满足工程应用需求.

关键词: 灵巧弹药; Mean Shift 算法; 目标跟踪; 鲁棒性

中图分类号: V556.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)05-0089-03

A Target Tracking Algorithm of Smart Munition Based on Multiple Features

NIE Zhen-gang^{1,3}, SUN Xie-chang^{2,3}, LIANG Yin-chuan^{2,3}

(1 School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2 Space Star Technology Co., Ltd, Beijing 100086, China;

3 Key Laboratory of Space-Ground Integrated Information Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: For the accurate target tracking of smart munitions' under complex background, a improved Mean Shift tracking algorithm based on color features and edge feature is proposed to improve the robustness of the Mean Shift algorithm. Due to a color-difference space is introduced to represent color features and edge information is introduced to represent texture feature, the robustness of Mean Shift algorithm is significantly enhanced. Using color-difference space instead of hue space and using back-projection method to resolve weighted coefficients, the complexity of algorithm is reduced and the real-time demand is meet. Experimental results show that compared with the state-art Mean Shift algorithm, the proposed multiple feature Mean Shift algorithm has improved the tracking performance and suited to engineering implementation. autonomous landing.

Key words: smart munition; Mean Shift algorithm; target tracking; robustness

1 引言

灵巧弹药是在其外弹道某段上能自主搜索、识别目标, 或者自主搜索识别目标后还能跟踪目标, 直至命中和毁伤目标的弹药^[1]. 而末制导弹药是在外弹道末段能跟踪并最终击中目标, 主要用于攻击战

场纵深的装甲军团. 末制导弹药的制导方式有电视摄像制导、激光半主动寻的制导、红外或毫米波的制导、红外/毫米波复合制导等. 以上制导型的弹药都采用视觉传感器来定位和跟踪目标, 因此视觉跟踪算法成为灵巧弹药的核心元素, 决定了灵巧弹药的攻击精度, 受到广泛的关注. 本文针对使用电视摄像

机作为视觉传感器的灵巧弹药目标跟踪问题,提出了一种将颜色信息和边缘信息融合作为特征空间的改进 Mean-Shift 算法进行目标跟踪的方法,改变了只应用颜色信息作为特征的 Mean-Shift 算法由于场景变化大,造成跟踪丢失和跟踪错误的问题,从而提高了跟踪算法的鲁棒性. 理论分析和试验都证明了该方法的实时性和有效性.

2 Mean Shift 算法原理

Mean Shift 算法^[2-7]是一种非参数概率密度估计算法,可以通过迭代快速收敛于概率密度的局部最大值,其基本思想就是通过不断地把跟踪窗口中心向样本加权均值移动使之收敛的过程.

假设有 n 个 d 维数据 $\vec{x}_i, i = 1 \cdots n$, 核函数为 $K(\vec{x})$, 带宽矩阵为 $\vec{H}$, 则点 $\vec{x}$ 的核函数概率密度为

$$\hat{f}(\vec{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_H(\vec{x} - \vec{x}_i) \quad (1)$$

其中

$$K_H(\vec{x}) = |H|^{-1/2} K(H^{-1/2} \vec{x})$$

最为常用的核函数为 Epanechnikov 核

$$K_E(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{2} c_d^{-1} (d+2) (1 - \|\vec{x}\|^2), & \|\vec{x}\| \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其对应

$$k_E(x) = \begin{cases} 1-x, & x \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

另一种常用核为 Gauss 核:

$$K_G(\vec{x}) = (2\pi)^{-d/2} \exp(-\frac{1}{2} \|\vec{x}\|^2) \quad (3)$$

其对应

$$k_G(x) = \exp(-\frac{1}{2} x^2)$$

选择带宽矩阵为 $h^2 I$, 得到的 Mean-Shift 矢量为

$$m_{h,G}(\vec{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{x}_i g(\|\frac{\vec{x} - \vec{x}_i}{h}\|^2)}{\sum_{i=1}^n g(\|\frac{\vec{x} - \vec{x}_i}{h}\|^2)} - \vec{x} \quad (4)$$

由上式可得 Mean-Shift 的迭代公式为

$$\vec{y}_{i+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{x}_i g(\|\frac{\vec{y}_i - \vec{x}_i}{h}\|^2)}{\sum_{i=1}^n g(\|\frac{\vec{y}_i - \vec{x}_i}{h}\|^2)} \quad (5)$$

3 特征目标选取

3.1 颜色特征

大多数模型选用 HSV 颜色空间中的受光照不大的 H 分量作为目标的颜色特征向量, 获得了很好的效果.

但是由于 RGB 空间到 H 的转换计算复杂度高, 在工程应用中存在很大难度. 因此本文选取 YCbCr 空间中的 CbCr 向量作为颜色特征向量, 相对于 RGB 空间, CbCr 空间只提取了图像中的颜色信息, 省略了亮度信息, 使得原来的三维空间降维成二维空间, 从而避免直方图稀疏的问题.

$$Cb = 128 - 0.169 \times R - 0.331 \times G + 0.5 \times B \quad (6)$$

$$Cr = 128 + 0.5 \times R - 0.419 \times G - 0.081 \times B \quad (7)$$

3.2 边缘信息

边缘信息代表了图像中的高频信息, 为图像中很重要的特征, 考虑到 CbCr 空间易受光照影响, 单靠颜色空间很难保证跟踪的稳定特性, 因此选取受光照影响变化不大的边缘信息作为模型的另一个特征, 可以提高跟踪的稳定性. 这里选取 Sobel 算子为边缘检测算子. 其水平和垂直卷积核^[11]为

$$K_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, K_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}.$$

3.3 直方图的建立

将上述图像颜色 CbCr 信息和图像的边缘信息组合成统一的直方图. 将 Cb 和 Cr 信息量化为 64 个色差空间, 边缘信息 Edge 简单的分为: 是否是边界点. 这样统一后的直方图为 Histogram[Edge][Cb][Cr], 其直方图大小为: $2 \times 64 \times 64$.

3.4 直方图相似度测量

得到目标模板和候选区域的概率密度函数后, 在当前帧中寻找目标位置的任务就转换成了寻找使得寻找目标的概率分布函数 $\hat{p}(\vec{y})$ 与候选目标的概率分布函数 $\hat{q}(\vec{y}_0)$ 最为匹配的位置. 一般的, 用 Bhattacharyya 系数来衡量特征直方图的相似性, 其表达式为

$$\hat{\rho}(\vec{y}) = \sum_{u=0}^{m-1} \sqrt{\hat{p}_u(\vec{y}) \hat{q}_u(\vec{y}_0)} \quad (8)$$

式中, m 为特征向量的总个数. 两密度之间的分布越相似, $\hat{\rho}(\vec{y})$ 则越大.

4 算法描述

引入加权因子 w_i , 则 Mean Shift 公式^[3] 变为

$$\vec{y}_{i+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{x}_i w_i g(\|\frac{\vec{y}_i - \vec{x}_i}{h}\|^2)}{\sum_{i=1}^n w_i g(\|\frac{\vec{y}_i - \vec{x}_i}{h}\|^2)} \tag{9}$$

其中

$$w_i = \sum_{u=0}^{m-1} \sqrt{\frac{\hat{q}_u(\vec{y})}{\hat{p}_u(\vec{y}_0)}} \delta[b(\vec{x}_i) - u] \tag{10}$$

综上所述, 本文提出的基于颜色和边缘的多特征目标跟踪算法步骤如下:

- (1) 选取跟踪目标, 初始化目标, 并提取目标的特征直方图, $\vec{y}_0$ 为该目标的中心位置, 目标用矩形来表示;
- (2) 设定 Mean Shift 算法允许的最大迭代次数;
- (3) 以 $\vec{y}_0$ 为候选目标的中心位置, 计算候选目标的特征直方图;
- (4) 计算加权值, 并用 Mean-Shift 计算候选目标的新位置 $\vec{y}$;
- (5) 如果 $\|\vec{y} - \vec{y}_0\| < \epsilon$ 或者迭代次数达到设定最大值, 停止. 否则 $\vec{y}_0 = \vec{y}$, 跳到步骤(3).

5 试验结果及分析

为了测试本文算法在复杂场景下对目标可靠跟踪的性能, 本文选择了多个测试序列进行测试, 并给出了 Coastgarden 序列的跟踪结果(共 100 帧).

考虑到算法的工程实现, 本文采用了文献^[4] 中的反映射方法求解加权系数, 避免了复杂的开方运算, 加之应用了色差空间替代 HSV 空间, 避免了求解 H 的除法运算, 从而非常适合于 DSP 器件的工程. 算法中设定迭代次数为 6 次, 迭代误差 $\epsilon=1$.

计算机配置为 P4 CPU 3.0 GHz, 内存为 1 GB, 开发环境为 Visual C++. 图 1~4 给出了应用本文算法和文献^[16] 的经典算法 Camshift 的跟踪结果.

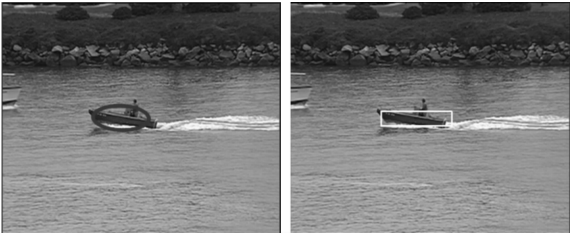
图 1~4 给出了应用上述两种算法的对比试验结果. 图 1 所示给出了初始目标选定区域, 图 2 所示为背景较为简单的目标跟踪, 图 3 和图 4 所示为出现复杂背景(大船)的跟踪结果.

从试验中可以看出, 对待背景较为简单的目标跟

踪, 两种的算法的跟踪效果并无明显差别, 这是因为在背景比较简单 的情况下, 单单依靠颜色信息足可以很好地表征目标区域, 因此跟踪可靠. 而图 3 和图 4 中, 当出现了背景复杂的情况时, 复杂背景干扰了原来相对简单的目标区域色彩表征, 出现了很多噪点, 从而 camshift 算法开始发散, 直至跟踪完全失败. 而本文算法由于结合了目标区域的特征点(边缘点)信息, 在这种情况下仍可借助边缘点的信息, 加之原有的颜色特征, 可靠稳定的跟踪目标, 避免背景带来的干扰.

就复杂度而讲, 本文选取色差空间来代替原有模型的 H 空间, 从而避免了除法运算, 使用反映射模式求解加权系数避免了开方运算, 使得算法非常适用于 DSP 的移植, 该算法在 PC 机上每秒可以平均处理 43.4 帧, 符合实时跟踪的要求.

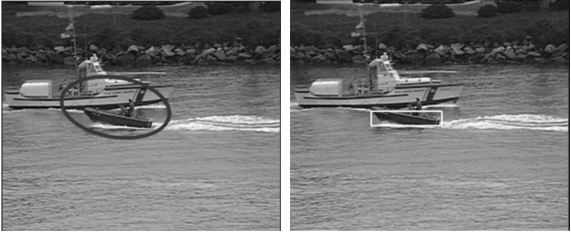
从上述的实验结果可以看出, 融合了色彩信息和边缘(梯度)信息的多特征融合目标跟踪算法可以实时有效的跟踪目标, 具有很好的鲁棒性和实时性.



(a)camshift 的跟踪结果 (b)本文的跟踪结果
图 1 第 4 帧图像



(a)camshift 的跟踪结果 (b)本文的跟踪结果
图 2 第 24 帧图像



(a)camshift 的跟踪结果 (b)本文的跟踪结果
图 3 第 55 帧图像

5 结束语

本文提出了一种自适应神经模糊控制算法,它的核心思想是根据实测数据生成模糊控制规则,降低了传统模糊控制法设计模糊规则和调整隶属函数的难度,提高了工作效率^[10]. 通过仿真实验的对比分析可以看出,自适应神经模糊算法具有良好的动态响应速度和稳态控制精度,输出曲线平滑,波动较小,能快速的对外界环境变化做出反应,具有较强的鲁棒性和有效性.

参考文献:

- [1] 赵争鸣,陈剑,孙晓瑛,等. 太阳能光伏发电最大功率点跟踪技术[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [2] 程琼,余露,付波,等. 基于改进模糊控制的光伏 MPPT 策略研究[J]. 湖北工业大学学报,2012,27(5):36-39.
- [3] 张忠政,程晓航. 太阳电池最大功率恒压跟踪研究

[J]. 中国电机工程学报,2014,34(26):21-27.

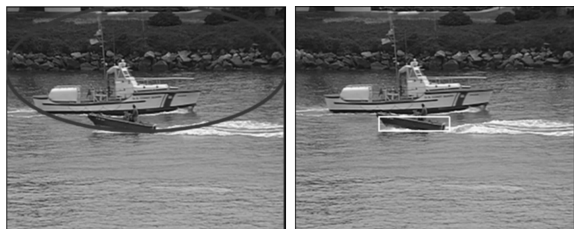
- [4] JOE A, TSONG L, YING T. Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems [J]. Tam kang Journal of Science and Engineering, 2005, 8(2):147-153.
- [5] 张超,何湘宁. 非对称模糊 PID 控制在光伏发电 MPPT 中的应用[J]. 电工技术学报,2005,20(10):72-75.
- [6] 江帆,吴晓波. 一种新颖的基于扰动观察法的 MPPT 控制芯片设计[J]. 微电子学与计算机,2008,25(12):197-202.
- [7] 郑蕾,黄克亚. 模糊控制技术与神经网络法相结合实现光伏发电系统最大功率点跟踪[J]. 制造业自动化,2011,33(8):41-48.

作者简介:

荣德生 男,(1975-),副教授. 研究方向为节能型电力电子技术及应用的研究. E-mail:345178299@qq.com

刘凤 女,(1990-),硕士. 研究方向为光伏发电最大功率点跟踪.

(上接第 91 页)



(a)camshift 的跟踪结果 (b)本文的跟踪结果

图 4 第 63 帧图像

6 结束语

本文提出的融合颜色信息和边缘信息的改进 Mean Shift 算法可以提高在复杂背景下目标跟踪的可靠度,同时由于计算量低,满足实时跟踪要求,非常适合于灵巧弹药末制导部分的工程应用.

参考文献:

- [1] 刘汉忠,顾晓辉. 灵巧弹药半实物仿真系统及模型[J]. 火力与指挥控制,2005,30(1):55-58.
- [2] DComaniciu, P Meer, Mean shift. A robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 23(5):

603-619.

- [3] Yizong Cheng. Mean Shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995,17(8):790-799.
- [4] Gary R Bradski. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface [J]. Intel Technology Journal, 1998,18(3):231-247.
- [5] Jordan J, Angelopoulou E. Mean-shift clustering for interactive multispectral image analysis[C]// proceedings of 2013 IEEE International Conference on Image Processing. Melbourne:IEEE,2013:3790-3794.
- [6] Demetri N, Zoubir A M. A robust kernel density estimator based mean-shift algorithm [C]// proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal. Florence:IEEE, 2014:7964-7968.
- [7] Xiao An, Jaedo Kim, Youngjoon Han. Optimal colour-based mean shift algorithm for tracking objects [J]. Computer Vision, 2014, 8(3):235-244.

作者简介:

聂振钢(通讯作者) 男,(1979-),博士后,讲师. 研究方向为计算机视觉、视频、压缩及其学习.

E-mail:zhengang.nie@bit.edu.cn