

• 开发与应用 •

海上运动目标跟踪系统的设计

张 昊, 洪景新⁺, 林 武, 李 琳

(厦门大学 计算机科学系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 为实现对海上运动目标的实时跟踪, 克服跟踪效果易受到严重遮挡影响的缺点, 建立了一套实时跟踪系统, 并且结合目标的运动信息与新的模型更新策略, 对均值漂移与卡尔曼滤波器相结合的跟踪算法做出了改进。当运动船只被遮挡的比例较大时, 先用估计出的目标速度矢量更新卡尔曼滤波器, 并用相应的模型更新策略更新目标模型以提高模型相似性度量的精确性, 再单独利用滤波器进行跟踪, 取得了较好的跟踪效果。实验结果表明, 该系统可以较好地实现海上运动目标的跟踪, 并且改进后的算法具有良好的实时性和鲁棒性。

关键词: 均值漂移; 卡尔曼滤波; 跟踪系统; 海上运动目标; 模型更新

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-7024 (2010) 02-0439-04

Design of tracking system for marine moving object

ZHANG Hao, HONG Jing-xin⁺, LIN Wu, LI Lin

(Department of Computer Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: To accomplish the real-time tracking for the marine moving object and overcome the defect of the susceptibility to severe occlusion, a set of real-time tracking system for the moving object at sea is designed. In virtue of the motion information and a new kind of model update strategy, some improvements are made for tracking algorithm combining the mean-shift with Kalman filter. When the moving vessel is largely blocked, Kalman filter is updated by the prior estimated velocity vector, and the accuracy of model similarity measurement is improved by utilizing the model update strategy, then the filter is exploited to implement tracking. The algorithm achieved good tracking effect. Experimental results show that the system implement marine moving object tracking with good real-time performance and robustness.

Key words: mean-shift; Kalman filter; tracking system; marine moving object; model update

0 引 言

实时运动目标跟踪在安全监控、智能感知以及基于目标的视频压缩等计算机视觉领域的应用十分广泛。目前, 大多数跟踪系统都是针对陆地上的机动车辆, 还没有一个跟踪系统是对海上运动目标进行跟踪。针对这种现状, 本文设计实现了一套海上运动目标跟踪系统并且在跟踪算法上做出了改进。

目前研究和使用的目标跟踪方法主要有均值漂移算法和卡尔曼滤波。均值漂移算法是一种高效的模式匹配算法, 该算法实时性好, 是无参估计算法, 而且可以和其它算法相结合; 它采用核函数直方图建模, 对目标物体的旋转和形变以及部分遮挡不敏感, 但在目标物体运动速度过快或者背景存在干扰时容易丢失目标。卡尔曼滤波是一种高效的递归滤波器, 它提供了一种高效可计算的方法来估计过程的状态, 并使得估计均方误差最小; 它可以在模型的确切性质未知的情情况估计信号的过去和当前状态, 甚至能估计将来的状态。近

几年来有研究人员采用均值漂移与卡尔曼滤波相结合的方法对非刚性运动目标进行跟踪, 该方法既能保证目标运动的一致性和连贯性, 又能达到实时跟踪的效果。但是, 在目标物体受到大面积遮挡时, 该算法达到的效果不甚理想。本文从目标的运动信息与模型更新两方面对算法做出改进, 不仅提高了目标模型与候选目标模型的匹配精度, 而且对于遮挡具有较强的鲁棒性, 还结合硬件平台达到自动跟踪运动目标的效果。

1 均值漂移跟踪算法^[1]

Mean-shift算法是一种半自动的跟踪方法, 它通过在起始帧中选定搜索窗口, 并利用核函数加权对搜索窗口中离目标中心点近的点赋大权值, 而对离中心点远的点赋小权值, 计算出当前搜索窗口的直方图分布, 同样对当前帧的搜索窗口计算直方图分布, 依据使两个分布具有最大相似性的原则, 迭代实现搜索窗口向密度增加最大的方向移动, 最终到达目标的

收稿日期: 2009-05-06; 修订日期: 2009-07-06。

作者简介: 张昊 (1983 -), 男, 江西丰城人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、模式识别; ⁺通讯作者: 洪景新 (1958 -), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 研究方向为嵌入式、数字信号处理; 林武 (1986 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为图形图像处理、计算机视觉; 李琳 (1985 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为计算机视觉、人工智能。E-mail: wonderfulboiz@163.com

真实位置。

1.1 起始目标模型与候选目标模型

HSV 空间 (HSV, 即色调 hue、色饱和度 saturation、明亮度 value) 采用的是较为直观的色彩描述方法。因此先将目标区域的 RGB 颜色空间转换为 HSV 颜色空间, 之后再分离其中的色度分量并将其分成若干份, 每份分别对应 1 个子特征值, 那么可以用这些子特征值来表征整个目标区域。根据核函数的凸特性与单调递减性, 第 u 个子特征值的概率表示为

$$p_u = C \sum_{i=1}^n k \left(\frac{x_0 - x_i}{h} \right)^2 \delta [b(x_i) - u] \quad (1)$$

式中 x_0 ——搜索窗口的中心坐标 x_i ——第 i 个像素的坐标 k ($\|x\|^2$)——核函数 h ——核函数带宽, 通常取为搜索窗口宽度的一半, 核函数赋予离目标中心较近的点以较大的权值 b 函数表示 x_i 处像素的颜色特征值 δ 函数为 Kronecker delta 函数, 标准化常量系数 C 使得所有特征值的概率之和等于 1, 取

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left(\frac{x_0 - x_i}{h} \right)^2} \quad (2)$$

类似式 (1), 假设当前帧候选目标区域的中心像素坐标为 y_0 , 那么第 u 个特征值的概率为

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

1.2 基于 Bhattacharyya 系数的度量方式与目标定位

Bhattacharyya 系数是一种与贝叶斯误差密切相关的度量单位, 它可以衡量两个离散特征直方图分布之间的相似性, 其一般形式定义为

$$\hat{\rho}(y) = \rho(\hat{p}(y), \hat{q}_u) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u} \quad (4)$$

相应的 Bhattacharyya 距离定义为

$$d(y) = \sqrt{1 - \hat{\rho}(y)} \quad (5)$$

$\hat{\rho}(y)$ 越大表示目标模型与候选目标模型的相似度越高, 反之则低。 $d(y)$ 正好相反, 它越小表示两个颜色特征直方图相似性越大。

在搜索过程中使用均值漂移算法计算 $\hat{\rho}(y)$ 的最大值。算法步骤如下^[2] :

(1) 计算当前搜索区域各点属于目标的权重

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \delta [b(x_i) - u] \quad (6)$$

(2) 计算候选目标的下一个新位置

$$y_i = \frac{\sum_{i=1}^m x_i w_i g \left(\frac{y_0 - x_i}{h} \right)^2}{\sum_{i=1}^m w_i g \left(\frac{y_0 - x_i}{h} \right)^2} \quad (7)$$

(3) 若 $\|y_i - y_0\| < \epsilon$ 或达到最大迭代次数则停止计算。否则将 y_i 代替 y_0 并返回到 (1) 执行, 继续寻找满足条件的候选目标位置。

2 卡尔曼滤波器

2.1 卡尔曼滤波的算法思想

卡尔曼滤波算法的主要思想是: 利用前一帧图像的目标跟踪结果来预测当前帧图像中目标的大概位置, 然后在该位置附近进行目标搜索, 如果搜索区域内存在目标, 则继续处理下一帧图像, 否则, 将搜索区域扩大, 重新搜索当前帧图像, 或

者丢弃前一帧图像, 直接处理下一帧图像。算法的关键在于预测搜索区域的位置。

2.2 卡尔曼滤波器的建模^[4]

卡尔曼滤波器包括两个模型:

系统运动方程

$$X_k = A \cdot X_{k-1} + W_k \quad (8)$$

系统观测方程

$$Z_k = H \cdot X_k + V_k \quad (9)$$

式中: 状态向量 $X_k = [x \ y \ dx \ dy]^T$, 测量向量 $Z_k = [x \ y]^T$ x 和 dx 分别是目标图像在水平方向的位置和运动速度, y 和 dy 分别是目标图像在垂直方向的位置和运动速度。 W_k 和 V_k 分别为正态分布的处理和测量噪声向量 $p(w) \sim N(0, Q)$ $p(v) \sim N(0, R)$ 。 状态传递矩阵 A , 测量矩阵 H , 处理噪声 W_k 的协方差矩阵 Q , 测量噪声 V_k 的协方差矩阵 R 的值如下

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3 遮挡问题的处理以及模型更新策略

文献[4-6]均提出了将均值漂移与卡尔曼滤波相结合的跟踪方法, 文献[4]的做法是先利用卡尔曼滤波器预测 Mean-shift 算法的起始点, 然后再利用 Mean-shift 算法得到目标位置, 其中借助卡尔曼滤波器残差判断物体是否被遮挡并采用线性预测的方法较好地解决了遮挡的问题。 文献[5]是根据受干扰程度分别对两算法的跟踪结果进行线性加权最终得到目标位置, 也取得了良好的跟踪效果。 而文献[6]则解决了目标模板过度更新的问题。 但是以上算法都没有利用到目标运动的速度信息。

由于本文针对的是海上运动目标, 所以可利用海上目标运动速度相对稳定的特点来实现跟踪, 此外, 还提出一种新的模型更新策略。 算法的一次执行可以大致描述为: 在 $k-1$ 时刻利用卡尔曼滤波器估计 k 时刻的目标位置, 同时以此位置作为下一步 Mean-shift 算法搜索窗口的中心, 然后在该中心位置的邻域内采用 Mean-shift 算法迭代查找目标的真实位置, 之后再以此真实位置更新卡尔曼滤波器的观测值, 预测 $k+1$ 时刻的目标位置。 在算法处理连续几帧后, 可以统计出目标中心的位置信息, 根据这些位置信息可以估计目标运动的速度矢量 \hat{v} 并以此更新卡尔曼滤波器的观测方程中的测量噪声向量 V_k 。 在实验中, 设一个判决门限值 α , 如果巴氏距离 $d(y) > \alpha$ 时, 说明发生目标被遮挡的情况, 此时既不能用 Mean-shift 确定目标的跟踪位置, 又不能简单地以候选模型替换目标模型, 原因在文献[6]中有详细阐述。 假如船只的被遮挡比例较大且在被遮挡过程中不会改变原运动方向, 则应该首先将目标模型更新为目标模型的遮挡部分, 这样在船只从遮挡物后面出来时可以照常使用巴氏距离进行相似性度量, 而且达到较高的匹配度。 然后, 可以结合之前估计出的速度矢量 \hat{v} , 采用卡尔曼滤波器来实现跟踪, 同时不断地计算 $d(y)$ 直到其小于门限值, 于是将目标模型替换为起始目标模型并重新启用 Mean-shift 算法来完成跟踪。 具体算法流程如图 1 所示, 其中设置一个标志位来判断是否应该替换目标模板。

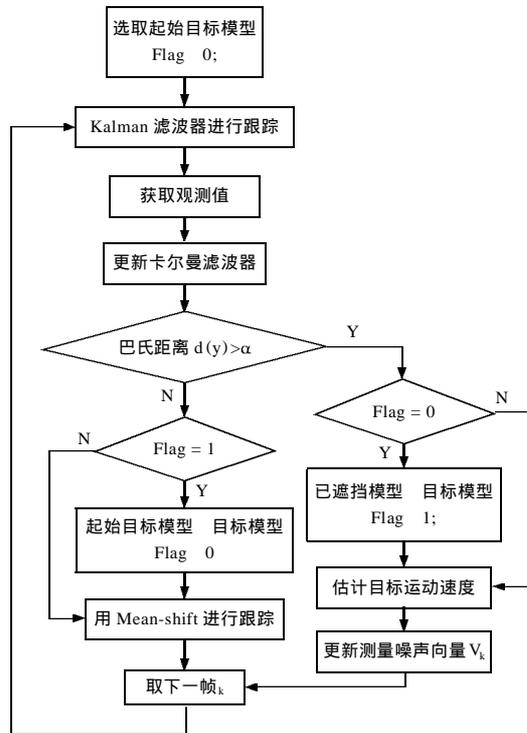


图1 改进后的运动目标跟踪算法流程

4 跟踪系统平台的搭建

基于均值漂移和卡尔曼滤波相结合算法的跟踪系统的流程如图2所示。硬件平台主要由上位机和下位机两部分构成。

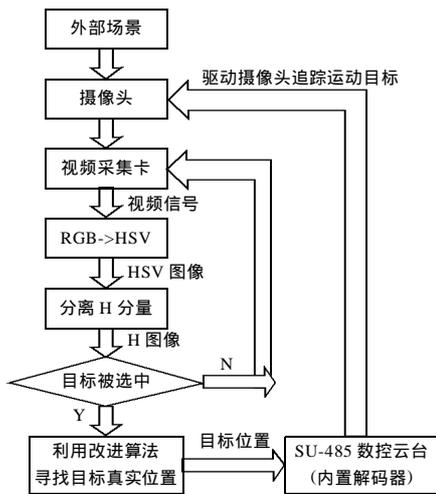


图2 跟踪系统的流程

4.1 上位机

上位机是 Pentium 2.83 GHz 双核处理器以及 2G 内存配置的 PC ,内置 10moons 视频采集卡 ,跟踪系统的操作软件是在 DirectShow SDK 的基础上采用 Visual C++6.0 和 OpenCV 编程实现的。系统采取上面介绍的均值漂移和卡尔曼滤波相结合的算法来实现跟踪。

4.2 下位机

下位机由 SU-450 数控云台和其上固定的摄像机构成 ,其

中摄像机分辨率设置为 320×240 ,图像采集的帧速率是 25f/s。云台在本系统中的作用是驱动摄像机的转动 ,由于摄像机固定在云台上 ,所以上位机可通过串口发送控制指令到数控云台以实现云台及摄像机的转动 ,从而改变视场的方向 ,实时追踪运动目标。

4.3 通讯系统

本系统采用的是串行通讯方式。数控云台的通讯接口支持 RS485 ,通过 RS232/RS485 转接口可实现上位机与下位机之间的通讯 ,串口通信所选波特率为 9600b/s。上位机通过 Windows CE API 函数与串行端口进行数据的传送与接收 ,进而驱动 SU-450 数控云台。

5 实验结果分析

本跟踪系统所达到的效果 :实时显示采集到的监视画面并对画面中被选中的运动目标进行跟踪 ,当运动目标移动时可以检测出目标的位置并预测其运动方向 ,然后控制云台的转动 ,使目标始终处于摄像机的视场范围内 ,从而实现了实时跟踪。在实验中 ,巴氏距离判决门限值 $\alpha = 0.4$,云台转速设置为 2.71 度每秒。跟踪实验结果如图 3 至图 5 所示 ,其中红色方框为目标区域 ,绿色叉为目标中心位置。

图 3 为 Mean-shift 算法对于船只视频的跟踪效果 ,在第 308 帧时由于目标船只被遮挡的比例较大 ,Mean-shift 算法跟丢目标 ,算法失效。图 4 为采用本文改进算法进行跟踪的效果图。图 4(a)为目标跟踪区域未被遮挡时的图像 ,图 4(b)是目标部分被遮挡时的图像 ,可以确定目标的跟踪点 ;图 4(c)显示目标船体几乎被完全遮挡 ,由于此时用估计的船只速度矢量信息更新卡尔曼滤波器 ,然后由更新后的卡尔曼滤波器进行

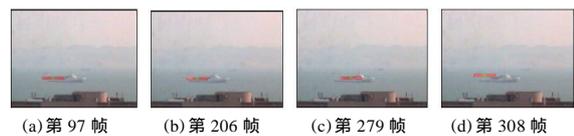
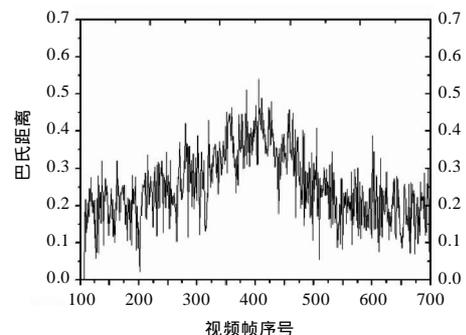
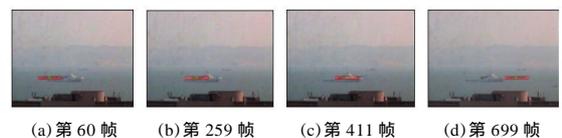


图3 采用 Mean-shift 算法进行跟踪的效果



(e) 巴氏距离匹配结果

图4 采用本文改进算法在遮挡情况下的目标跟踪效果

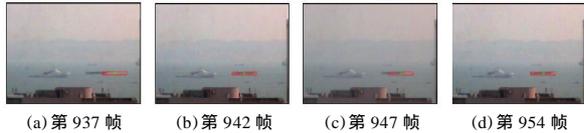


图5 摄像头移动时的目标跟踪效果

跟踪,因此仍然能跟上目标,图4(d)则是目标驶出遮挡物后仍然被稳定跟踪。由图4(e)可见,巴氏距离主要集中在0.2~0.3之间,模型相似性度量的精度得到一定提高。图5显示当运动目标要离开镜头视野时,由云台驱动摄像机跟随目标移动,这时会产生短暂偏离目标的情形,如第937、947帧所示。这是由于镜头移动对跟踪区域产生了一定干扰,但很快又重新跟上目标,如第954帧所示,这体现了算法较好的鲁棒性。

6 结束语

针对以海面为背景的运动目标,本文设计实现了一套实时跟踪系统,该系统集视频采集、处理以及云台的运动控制于一体。并且对均值漂移与卡尔曼滤波相结合的方法做出了相应的改进,通过估计海上目标运动的速度信息来对卡尔曼滤波的观测方程进行更新,使其对遮挡情况具有良好的鲁棒性;采用新的模型更新方式在一定程度上提高了模型相似性测量的精确度。该跟踪系统能长时间稳定地跟踪目标并具有较强的抗遮挡能力,即使在大面积遮挡情况下,还是能够稳定跟踪目标。然而,当云台转动速度过快或者摄像头变焦时会产生

跟踪误差,而且在跟踪过程中易受到海面反光的影响,这些将在下一步工作研究解决。

参考文献:

- [1] Dorin Comaniciu, Visvanathan Ramesh, Peter Meer. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [2] Dorin Comaniciu, Peter Meer. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [3] Filter Hieu T Nguyen, Arnold WM Smeulders. Fast occluded object tracking by a robust appearance filter [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(8): 1099-1104.
- [4] 朱胜利, 朱善安, 李旭超. 快速运动目标的 Mean-shift 跟踪算法 [J]. 光电工程, 2006(5): 66-70.
- [5] 常发亮, 刘雪, 王华杰. 基于均值漂移与卡尔曼滤波的目标跟踪算法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(12): 50-52.
- [6] 李正周, 刘国金. 基于均值漂移和卡尔曼滤波的目标跟踪方法 [J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(1): 71-74.
- [7] 彭宁嵩, 杨杰, 刘志, 等. Mean-shift 跟踪算法中的核函数窗宽的自动选取 [J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1542-1549.
- [8] 梁静, 支琤, 周军. 基于 Mean Shift 的抗遮挡运动目标跟踪算法 [J]. 电视技术, 2008, 32(12): 82-85.

(上接第 438 页)

表2 本文方法与其它驾驶员疲劳检测方法的比较

检测方法	原理	准确性	实用性	可扩展性
检测驾驶员生理现象	检测大脑电波、眨眼频率、心率等的变化	好	差	一般
检测汽车行为	检测汽车行驶中的行为,如速度大小、加速度等的变化	好	好	差
检测驾驶员反应	定期检查驾驶员的反应	好	差	好
检测行驶条件	检测行驶时间及其对应的行驶条件	差	好	好
本文方法	用 KLT 对眼睛部位进行跟踪,检测眼睛闭合频率	好	好	好

因此,该方法的鲁棒性和准确性都较高。但是在驾驶员头部快速运动或旋转角度过大时,会出现一些误判。

利用信息融合技术^[11],多种监测方法进行有机的结合的方法是驾驶员疲劳状态监测的发展趋势。本文方法有待于运用到现实的车载系统中去,为体现算法的价值,以后的研究要倾向于驾驶员疲劳状态监测装置的车载性、实时性、非接触性等方面。

参考文献:

- [1] 交通安全报疲劳驾驶预警系统简介 [EB/OL]. <http://www.sqjtj.gov.cn/Default2.aspx?xwid=558>, 2008.
- [2] 郑培, 宋正河, 周一鸣. 基于 PERCLOS 的机动车驾驶员驾驶疲

劳的识别算法 [J]. 中国农业学报, 2002, 7(2): 104-109.

- [3] 杨彬, 黄耀治. 基于 PERCLOS 的汽车司机疲劳监控方法的研究 [J]. 微计算机信息, 2005(24): 119-121.
- [4] Takahashi Y, Karungaru S, Fukumi M, et al. Feature point extraction in face image by neural network [C]. International Joint Conference, 2006: 3783-3786.
- [5] Birchfield S. KLT: An implementation of the Kanade-Lucas-Tomasi feature tracker [EB/OL]. <http://www.ces.clemson.edu/stb/klt>, 2005.
- [6] Rachmielowski A, Cobza D, Jagersand M. Robust SSD tracking with incremental 3D structure estimation [C]. Computer and Robot Vision, the 3rd Canadian Conference, 2006.
- [7] 段鸿, 程义民, 王以孝, 等. 基于 Kanade-Lucas-Tomasi 算法的人脸特征点跟踪方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(3): 279-283.
- [8] 葛如海, 陈彦博, 刘志强. 基于计算机视觉的驾驶疲劳识别方法的研究 [J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(9): 134-137.
- [9] 汲清波, 张兴周, 刘云鹤. 动态背景的顺序图像中运到小目标检测算法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(35): 93-95.
- [10] 张恒, 刘艳丽. 基于视觉信息融合的驾驶员疲劳监测方法综述 [J]. 信息技术, 2008(6): 8-11.
- [11] 宋义伟, 夏芹, 朱学峰. 驾驶员疲劳驾驶监测方法研究的进展 [J]. 自动化与信息工程, 2007, 28(4): 31-34.