

文章编号: 1672-8785(2011)10-0030-05

岛岸背景下的红外运动多目标跟踪

刘恩凡¹ 杨久成² 石文君³ 徐国强³

(1. 空装军通部, 北京 100843;

2. 济空装备部军通处, 山东济南 250002;

3. 空军第一航空学院航空导弹教研室, 河南 信阳 464000)

摘 要: 提出了一种基于粒子滤波和 FCM 的岛岸背景条件下红外运动多目标跟踪方法。通过对红外序列图像进行中值滤波、边缘提取、海天线检测和形态滤波等预处理, 提取出若干个候选目标。然后利用基于粒子滤波和 FCM 的算法实现对候选目标的数据关联和连续跟踪。实验结果表明, 该方法具有良好的可行性和效果。

关键词: 多目标跟踪; 粒子滤波; FCM

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.10.006

Tracking of Multiple Moving Infrared Targets against Island and Shore Background

Liu En-fan¹, Yang Jiu-cheng², Shi Wen-jun³, Xu Guo-qiang³

(1. Military Communication Department of Air Force Equipment Department, Beijing 100843, China;

2. Military Communication Office of Air Force Equipment Department in Jinan Region, Jinan 250002, China;

3. Aeronautic Missile Department of the First Aeronautic Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

Abstract: A method for tracking multiple moving infrared targets against island and shore background is proposed. The method is based on a particle filter and a FCM algorithm. It firstly extracts several target candidates through the preprocessing including median filtering, edge extraction, sea-sky line detection and morphological filtering of infrared sequence images. Then, it implements the data association and continuous tracking on the target candidates by using the particle filter and the FCM algorithm. The experimental result shows that this method is feasible and effective.

Key words: multi-target tracking; particle filter; FCM

0 引言

岛岸背景条件下的红外运动多目标跟踪与检测研究是现今人们关注的热点之一。红外多目标跟踪方法通常包括基于运动轨迹质心迹累加的序列跟踪方法、多特征融合方法、联合概率数据关联 (Joint Probabilistic Data Association, JPDA) 方法和多假设跟踪 (Multiple Hypothesis Tracking,

MHT) 方法等^[1]。其中, 基于运动轨迹质心迹累加的序列跟踪与检测方法适用于深空背景下的点目标检测; 多特征融合方法的运算量较大, 可靠性较差; JPDA 法和 MHT 法虽然都被公认为是在复杂环境中对多目标进行跟踪效果较为理想的方法, 但其计算量和存储量均较大, 不利于硬件的实时实现^[2]。

收稿日期: 2011-08-17

作者简介: 刘恩凡 (1977-), 男, 河南漯河人, 硕士研究生, 主要从事航空弹药方面的研究。E-mail: shiwen.79.1@163.com

本文根据岛岸背景条件下红外多目标跟踪的实时性和精确性要求, 在对岛岸背景红外序列图像进行预处理的基础上, 运用粒子滤波思想提出了一种基于粒子滤波和 FCM 算法的红外多目标跟踪方法。在连续跟踪中, 通过保存和对比各个目标的位置、灰度、形状和运动等特征, 可以剔除虚假目标和实现对真正目标的跟踪。该算法既可减小跟踪中的虚警率, 又可确保计

算量随目标数量的增多而呈线性增长。

1 岛岸背景红外图像的预处理

通常, 岛岸背景大多出现在海天线附近。因此, 本文用海天线检测方法实现对岛岸背景的抑制, 以消除其在目标运动过程中对目标跟踪的影响。图 1 所示为岛岸背景红外图像的预处理流程。

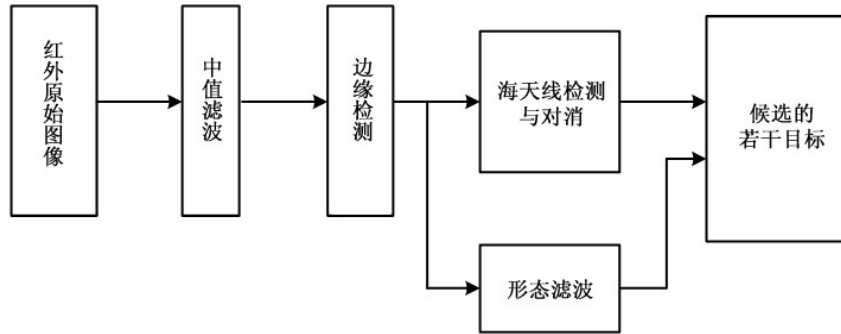


图 1 岛岸背景红外图像的预处理流程

2 基于粒子滤波和 FCM 的红外运动多目标跟踪方法

2.1 粒子滤波算法

粒子滤波算法是一种基于蒙特卡罗仿真的近似贝叶斯滤波算法。它的核心思想是用一些离散的随机采样点 (粒子) 来近似表示状态变量的概率密度函数^[3]。当采样点的数目足够大时, 这些粒子可以很好地逼近后验概率密度函数。与扩展 Kalman 滤波算法和 Unscented Kalman 滤波算法相比, 粒子滤波算法能够处理任意的非线性函数和非高斯分布。

2.2 FCM 聚类算法

模糊 c -均值 (FCM) 算法最初是由 Dunn 于 1973 年提出的, 后来 Bezdek 对它进行了改进和推广应用。FCM 算法是一种依据最小二乘法原理, 通过采用迭代法优化目标函数来获得数据划分的方法, 其损失 (目标) 函数的定义如下^[4]:

$$J_m = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (1)$$

式中, 数据集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $x_i \in R^s$; n 为待聚类数据点的总数; c 为聚类中心数;

指数 $m > 1$ 是用来调节模糊类之间分得隶属度的程度。增大 m 将会增加函数的模糊性, 使数据点的隶属度降低。在此算法中所要做的就是追求 J_m 的最小化。具体算法步骤可以参考文献^[5]。

2.3 基于粒子滤波和 FCM 的红外运动多目标跟踪算法

目标的刚性运动可以通过基于 6 个参数的仿射变换 $A_t(\theta, SX, SY, SXY, TX, TY)$ (依次为目标轮廓旋转的角度 θ 、在 x 方向上伸缩的尺度 SX 、在 y 方向上伸缩的尺度 SY 、在 xy 方向上伸缩的尺度 SXY 、在 x 方向上的中心点位置 TX 和在 y 方向上的中心点位置 TY) 和运用一阶 Markov 过程进行建模来实现^[6]。这里, 为简化计算, 不考虑 SXY 。目标在形状空间内的参数 S 可以表示为

$$S = (TX, TY, SX \cos \theta - 1, SY \cos \theta - 1, -SY \sin \theta, -SX \sin \theta) \quad (2)$$

红外运动多目标跟踪算法的具体流程如下:

(1) 目标的先验知识和粒子状态的初始化

这里, 目标的先验知识是用目标轮廓来描述的。先验知识 (即目标的运动状态) 在 k_0 时刻的初始值为

$$A^{init} = (\theta^{init}, SX^{init}, SY^{init}, TX^{init}, TY^{init}) \quad (3)$$

取粒子数为 N_s , 其权值 ω^i 的初始值为 1, 每个粒子代表目标的一个可能状态。也就是说, 每个粒子都具有 5 个参数:

$$A^i = (\theta^i, SX^i, SY^i, TX^i, TY^i), \quad i = 1, 2, \dots, N_s \quad (4)$$

相应地, 每个粒子在形状空间内的参数 S^i 可以表示为

$$S^i = (TX^i, TY^i, SX^i \cos \theta^i - 1, SY^i \cos \theta^i - 1, -SY^i \sin \theta^i, -SX^i \sin \theta^i) \quad (5)$$

粒子参数的初始值取为

$$\begin{aligned} TX^i &= TX^{init} + b_1 \xi \\ TY^i &= TY^{init} + b_2 \xi \\ \theta^i &= \theta^{init} + b_3 \xi \\ SX^i &= SX^{init} + b_4 \xi \\ SY^i &= SY^{init} + b_5 \xi \end{aligned} \quad (6)$$

式中, ξ 为 $[-1, 1]$ 内的随机数, b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 和 b_5 为常数。

(2) 重要性采样

下面介绍用于预测和描述物体刚性运动的仿射参数 $A_t^i = (\theta^i, SX^i, SY^i, TX^i, TY^i)$ 的实现过程。

在后续时刻 $k_t (t > 0)$, 利用系统状态转移方程对每个粒子进行状态预测。

这里取一阶 ARP 方程:

$$x_t = Cx_{t-1} + Dw_{t-1} \quad (7)$$

每个粒子代表目标的一种可能运动状态, 也就是目标的一种可能轮廓。众多粒子则构成了目标轮廓的变化区域。

(3) 粒子加权

粒子权值的计算和迭代公式为

$$\omega_t^{(i)} = \omega_{t-1}^{(i)} p(Z_t | X_t^{(i)}) \quad (8)$$

式中, $p(Z_t | X_t^{(i)})$ 为基于观测模型的似然函数。

通常, 目标区域在前后帧之间的关联是基于区域的灰度特征、结构特征和运动特征实现的。这里, 通过融入模糊聚类的思想实现数据关联, 即

$$p(Z_t | X_t^{(i)}) \propto \rho(T(d_{k-1}, a_{k-1}, g_{k-1}, s_{k-1}, r_{k-1}), T(d_k, a_k, g_k, s_k, r_k)) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &\rho(T(d_{k-1}, a_{k-1}, g_{k-1}, s_{k-1}, r_{k-1}), T(d_k, a_k, g_k, s_k, r_k)) \\ &= u_d * \left(\frac{d_k}{d_{k-1}}\right)^2 + u_a * \left(\frac{a_k}{a_{k-1}}\right)^2 + u_g * \left(\frac{g_k}{g_{k-1}}\right)^2 \\ &\quad + u_s * \left(\frac{d_s}{d_{s-1}}\right)^2 + u_r * \left(\frac{d_r}{d_{r-1}}\right)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$u_d + u_a + u_g + u_s + u_r = 1 \quad (11)$$

式中, $\rho(T(d_{k-1}, a_{k-1}, g_{k-1}, s_{k-1}, r_{k-1}), T(d_k, a_k, g_k, s_k, r_k))$ 为定义的模糊系统实现函数。 ρ 值的大小表明了多目标前后间相互的关联程度; ρ 值越大, 模糊系统的输出越大。目标灰度在前后时间段中的变化在上述 5 个参数中最小, 距离和方位参数次之, 而面积和长宽比的变化则较大。因此, 根据多次试验结果, 当从式 (10) 和式 (11) 中取 $u_d = 0.1$ 、 $u_a = 0.1$ 、 $u_g = 0.6$ 、 $u_s = 0.15$ 和 $u_r = 0.05$ 时, 分类效果较好。

(4) 重采样

$$N_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (\hat{\omega}_k^i)^2} \quad (12)$$

若 $N_{eff} \leq N_{th}$, 则选择权值大的粒子进行重采样; 也就是返回到第 (2) 步, 并缩小 w_{t-1}^n 在 $[-1, 1]$ 区间内的选值范围, 使得重采样后得到的粒子所对应的目标轮廓更加接近于目标在当前帧的区域形状和位置。否则, 转到下一步。

(5) 转到下一时刻, 得到当前帧目标的轮廓区域, 并将该区域轮廓作为下一帧的起始状态和先验知识, 返回到第 (2) 步。这里, 同样通过对该区域轮廓进行仿射变换后得到并穷举一系

列目标的可能轮廓位置, 并把这些轮廓曲线与下一帧的真实目标轮廓进行比较。通过不断地对粒子进行迭代、加权和重采样, 最终确定仿射变换参数的大小。这样就实现了对红外多目标的连续跟踪功能。

3 对比实验与结果分析

采用分辨率为 320×240 、速率为 25 帧/s、响应波段为 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的红外成像设备进行红外实验和算法检验。实验计算机的配置为英特尔 Core2 Duo 2.6 GHz 处理器和 4 GB 内存, 程序的编写环境为 VC++6.0。具体实现过程如下:

实验内容是连续跟踪岛岸背景下的 3 艘船, 如图 2(c) 所示。在整个实验过程中, 目标 1 向左运动, 目标 3 快速向右运动, 目标 2 则在缓慢转向。图 2(a)、图 2(b) 和图 2(c) 分别为第 10 帧原始红外图像、海天线提取图像和利用本文算法得到的多目标跟踪图像。图 3(a)、图 3(b) 和图 3(c) 分别为第 866 帧原始红外图像、海天线提取图像和利用本文算法得到的多目标跟踪图像。图 4(a)、图 4(b) 和图 4(c) 分别为第 2287 帧原始红外图像、海天线提取图像和利用本文算法得



图 2 第 10 帧图像结果

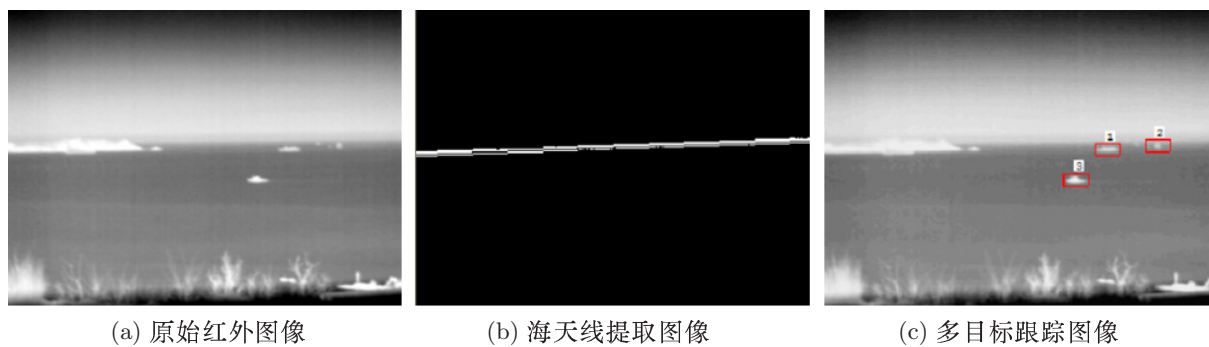


图 3 第 866 帧图像结果

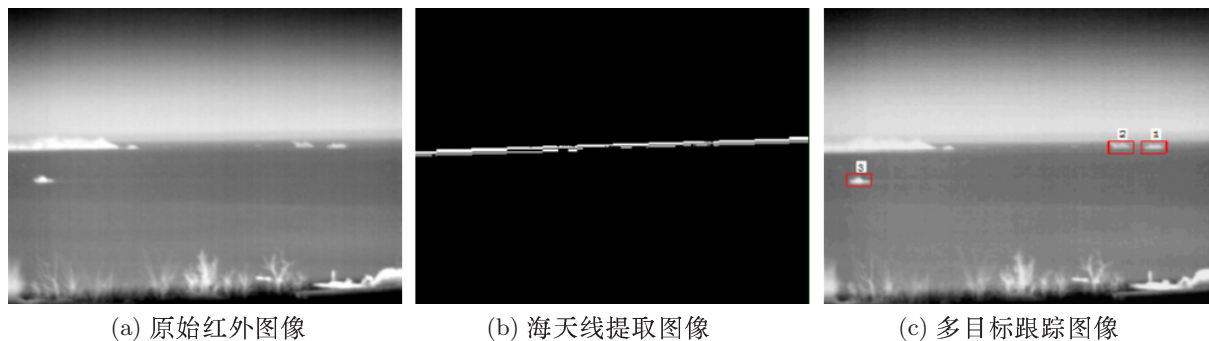


图 4 第 2287 帧图像结果

到的多目标跟踪图像。

应用 2.3 节的算法流程, 具体实验步骤如下:

(1) 初始化。通过边缘检测得到目标在前后帧中的曲线轮廓和相应的曲线控制点。

(2) 重要性采样。通过对前一帧目标轮廓区域的控制点进行仿射变换, 穷举目标的可能结构形状。具体来说, 对每个目标选取 300 个粒子, 先穷举目标区域中心点的位置坐标, 从而确定仿射变换参数中的中心点的位置坐标; 然后穷举出旋转参数以及在 x 和 y 方向上的伸缩尺度。

(3) 粒子加权。根据式 (9)、式 (10) 和式 (11), 通过与当前帧目标区域的控制点和区域特征实现数据关联和粒子加权。

(4) 重采样。粒子滤波迭代和终止的规则是, 当有超过 95 % 的粒子 (即 285 个粒子) 与当前帧目标之间差异的似然函数 $p(Z_t|X_t^{(i)}) < 0.96$ 时, 终止迭代, 并根据上述粒子确定仿射参数; 否则, 参照权重大的粒子所对应的仿射参数缩小随机选取仿射参数的范围, 对现有粒子进行重采样, 并通过不断对粒子进行迭代、加权和重采样, 最终确定仿射变换参数的大小。

实验结果表明, 本文算法能够对岛岸背景条件下的运动多目标实现正确和稳定的跟踪。

4 结束语

在整个算法步骤中, 先通过提取海天线和形态滤波实现对岛岸背景的抑制, 然后使用基

于粒子滤波和 FCM 的方法实现数据关联, 从而达到对多目标进行连续跟踪的目的。试验结果表明, 使用基于粒子滤波和 FCM 的算法进行多目标跟踪时, 只要迭代 8 ~ 10 次就可以使跟踪趋向稳定, 并可达到实时性要求。该算法是一种用于解决岛岸背景下运动多目标跟踪问题的较好实现方法。如何解决目标运动过程中发生的局部变形和受遮挡问题是下一步研究和改进的重点。

参考文献

- [1] Pulford G W. Taxonomy of Multiple Target Tracking Methods [C]. Proceedings of IEEE Conference on Radar Sonar Navigation, 2005, 152(5): 291-304.
- [2] 郝晓冉, 张有志. 一种序列图像中运动点目标的检测算法 [J]. 红外与激光工程, 2005, 34(6): 710-713.
- [3] 董春利, 董育宁, 刘杰. 基于粒子滤波和 GVF-Snake 的目标跟踪算法 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(4): 828-833.
- [4] Selim S Z, Ismail M A. K-means Type Algorithm [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 6(1): 81-87.
- [5] 宋卫华, 邵晓英, 巴特尔, 等. 基于 FCM 的特征融合医学图像检索 [J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 140-143.
- [6] 邱丽梅, 胡步发. 基于仿射变换和线性回归的 3D 人脸姿态估计方法 [J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 2877-2883.

(上接第 29 页)

4 结论

本文根据红外序列图像的具体特性, 对 Hough 变换算法的计算量进行了优化。通过将三维空间 Hough 变换降为二维, 极大地降低了算法的计算量。实验结果表明, 本文算法可以较好地应用到红外序列图像点目标跟踪中, 充分发挥了 Hough 变换算法的抗噪性, 实现了对红外图像点目标的稳定跟踪。

参考文献

- [1] 刘志才, 李志广. 红外热像仪图像处理技术综述 [J]. 红外技术, 2000, 20(6): 27-32.

- [2] 赵耀宏, 向伟, 罗海波, 等. SOPC 技术在实时红外图像处理中的应用 [J]. 红外与激光工程, 2005, 34(6): 745-751.
- [3] 宋岩峰, 邵晓鹏, 徐军. 基于双平台直方图的红外图像增强算法 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(2): 308-310.
- [4] Pei S C, Homg J H. Circular Arc Detection Based on Hough Transform [J]. Pattern Recognition Letter, 1995, 16(2): 615-625.
- [5] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. IEEE Trans PAMI, 1986, 8(6): 679-698.
- [6] Richard Q J, Thomas H S. Optimal Edge Detection in Two Dimensional Image [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1996, 5(7): 1215-1220.