海天混杂闪烁背景下运动点目标检测新方法

朱风云 秦世引

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对海天混杂闪烁背景及单像素运动点目标的特征, 设计了海天相连区域快速定位及基于模式分类的环域全向差分扩展中-均值滤波的预处理算法, 二次进行全向差分均值滤波后, 利用基于直方图的自适应阈值分割得到初步侯选目标点. 形态学滤波保留有效的单像素侯选点, 最后进行帧间侯选目标点之间的相关性分析和目标短时丢失的直接再搜索. 仿真实验采用两个实拍场景中加入单像素仿真目标生成的 220帧图像, 结果为: 信噪比 ≥0.5时单帧检测率为 91%, 3帧以上的连续检测中检测率达到 95%; 对照组 22帧不含仿真点目标, 3帧以上的连续检测虚警数为 0.

关 键 词: 海天混杂闪烁背景; 点目标; 模式分类; 扩展中-均值滤波

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008) 12-1384-04

Novel method for moving point target detection under glint and clutter background of sea-sky blending

Zhu Fengyun Qin Shiyin

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract Based on the features of glint and clutter sea-sky blending background as well as point target with one pixel, a fast location algorithm for sea-sky blending area and an extended median-mean filter for all direction ring-neighborhood difference data based on pattern classification were designed as pre-processing methods. The all-direction difference was re-carried out again so that candidates of point target can be detected by segmentation with an adaptive threshold based on histogram. The morphologic filter was used to keep point targets with only one pixel. Finally the moving point target and its trajectory can be detected in sequence images based on trajectory matching and direct search if mismatching occurs. The simulation results with 220 frame images which were made by adding simulation point target in real images show that moving point targets with signal to noise ratio (SNR) not lower than 0.5 can be detected effectively: the correct detection rate is 91% in one frame and 95% in a sequence of three frames, in addition the false alarm in a sequence of three frames does not occur for the 22 frame images without simulation point target.

Key words: glint and clutter sea-sky blending; point targets; pattern classification; extended median-mean filter

自然强光造成的海天混杂闪烁背景是一种常见复杂背景, 其中的低信噪比运动点目标检测是许多实际工程应用领域中的一个重要问题. 本文中点目标特指只有一个像素的目标, 在复杂背景下, 要实现准确可靠的检测是有很大难度的. 由于没有任何常规特征可以利用, 不要说在单帧图像内检测出点目标, 即使是在序列图像中检测出来也是非常困难的, 如何将复杂背景下混同在各种噪声中的点目标检测出来一直是该领域的一个难题. 目前, 运动点目标的检测都是以目标的运动特征和统计信息为基础的, 常用的方法有: 三维匹配滤波器法、动态规划法、顺序形态滤波方法、多帧

收稿日期: 2007-12-17

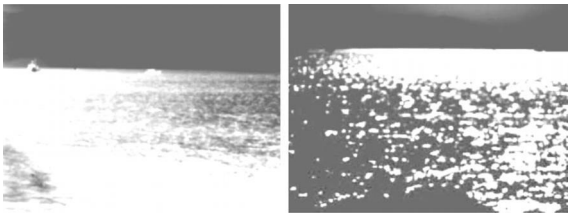
作者简介: 朱风云(1975-), 男, 山西阳泉人, 博士生, zy_topgun_zhu@buaa.edu.cn

移位累加法、多级假设检验法、高阶相关法等[1]. 这些方法都是基于目标运动参数约束以及运动的连续性等先验知识来检测目标的, 而且适用范围都有一定局限性, 如对目标运动速度、轨迹的限制; 计算量大, 实时实现困难等. 所以, 又有其他算法出现, 如快速算法[2]、投影算法[3]、基于差分近邻反相特征的检测算法[4]等. 这些研究进一步解决了部分问题, 但是在如何检测机动点目标方面仍然有待研究, 特别是海天混杂闪烁背景下的强机动点目标的检测问题, 尤其适用于防御超音速、倍音速方向发展的现代武器系统的需要. 本文针对海天混杂闪烁背景下的运动点目标检测问题提出了一种新方法.

1　海天混杂背景与点目标特征分析

1.1　海天混杂闪烁背景的基本特征

如图 1所示, 海天混杂闪烁背景是一种常见复杂背景, 相邻帧之间起伏变化剧烈, 除了少量固定目标之间具有较强的相关性以外, 其它区域, 特别是海面闪烁区域变化尤为剧烈, 无法实现背景配准后差分对消. 对海面闪烁杂波进行基于随机过程建模和仿真研究有意义, 但是用来进行背景预测对消时则困难较多, 因此必须寻找更加简单、实用、有效的方法来去除背景影响.



a　场景 1的第 1帧图像　　b　场景 2的第 1帧图像

图 1　海天混杂闪烁背景典型图像

分析可知, 海天混杂背景可以由海天线将整幅图像分为海面和天空两个区域. 在点目标出现概率最高的海天相连区域内, 不同的局部区域灰度值的常规统计量变化剧烈. 针对不同的区域采用不同的滤波器是一种可行的解决途径, 其基础是对局域背景进行模式分类.

1.2　单像素运动点目标的相关特征

在红外序列图像中运动点目标表现为: 只有一个像素, 没有任何形状、纹理、边缘等特征可资利用. 点目标在单帧图像中的特征是: 灰度值与其邻域内的像素有一定的差别, 这种差别越小则点目标的信噪比越低. 信噪比定义为: $SNR = (s - m)/\sigma$, 其中, s为点目标灰度均值, m 和 σ 为单帧图像中背景平均灰度和标准差. 除了上述特征外, 可以利用的唯一特征就是运动特征. 比较成功的算法都应能很好地利用目标的运动特征[3-4].

2　主要算法

本文提出的海天混杂闪烁背景下运动点目标检测新方法的组织结构如图 2所示.

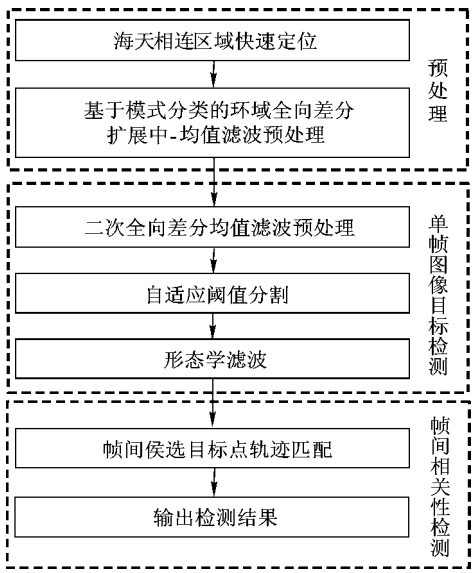


图 2　点目标检测系统的组织结构

检测系统包括图 2中的 3个模块, 前两个模块的处理结果为当前帧中的侯选目标点, 利用目标在相邻帧之间的运动特性进行侯选目标点的轨迹匹配即可得到最终的检测结果, 此模块的处理引入了目标短时丢失时直接再搜索的机制, 使得点目标的检测概率进一步提高.

2.1　海天相连区域特征及快速定位算法

海天线是海天混杂闪烁背景中抽象出来的一个重要概念, 因为: ①原始图像上并不存在单像素宽度的像素集合可以构成海天线, 文献中的海天线检测是在边缘检测预处理之后进行的, 这是其抽象性; ②海天相连区域是单像素的远距离点目标最先出现的区域, 这是其重要性. 考虑到上述两点, 本文摒弃了海天线的检测[5], 设计了在原图像上直接定位海天相连区域的快速算法.

2.1.1　构造性结构统计量及其参数设置

沿图像水平方向选取均匀分布的 5个窗口, 其参数为 20×5像素, 窗口间距随图像宽度自动调节. 铅垂方向窗口为两排, 排间距 h的选取主要影响本算法对海天线倾斜的抗干扰能力. 这里 h选 30像素. 仿真实验结果表明这样的参数设置可以适应海天线倾斜最大为 10°的情况.

2.1.2　海天相连区域快速定位算法描述

基于构造性结构统计量的海天相连区域快速

定位算法如下: ①计算上排各窗口灰度均值 A_i^u; ②A_i^u 保留 4个均值相近的窗口; ③计算下排各窗口灰度均值 A_i^d; ④A_i^d 保留 4个均值相近的窗口; ⑤垂直方向上下两排中对应位置窗口计算平均差 $A_i^u - A_i^d$; ⑥计算累积总差分平均值 d: $d = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(A_i^u - A_i^d)$; ⑦整幅图像逐行扫描比较并保留 d 的最大值及其所对应的位置 l_u 和 l_d; ⑧修正 l_u 和 l_d 得到海天相连区域上下边界的位置参数.

2.2 基于背景模式分类的滤波算法

2.2.1 背景模式预分类算法

考虑点目标出现的重点区域为海天相连区域内, 当点目标分别处于海天线附近、海面区域和天空区域时, 三者的差别很大. 因此, 本文算法根据待处理像素 5×5环形邻域全向差分数据构造的统计量, 将每个待处理像素所处背景进行模式分类. 具体的分类算法如下.

1) 计算待处理像素的 5×5环形邻域全向差分结果, 如图 3所示, 其中 g 为中心待处理的像素, $g_i(i=1, 2, \cdots, 16)$为其 5×5环形邻域像素值, $k_i = |g - g_i|(i=1, 2, \cdots, 16)$为差分结果, 为了后面叙述方便这里给它们按顺序编了序号.

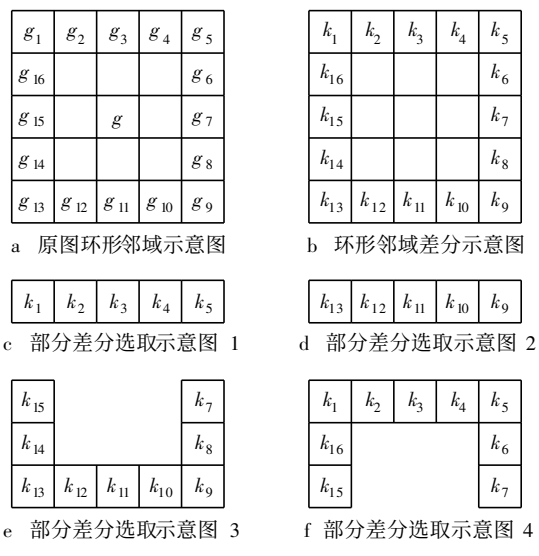


图 3 环形邻域全向差分计算及背景模式分类示意图

2) 顺序计算图 3b~图 3f区域的标准差 s_i;

3) 依据 s_i 按照如下规则将背景分为 3类: ①跨区域上部差分结果保留; ②跨区域下部差分结果保留; ③非跨区域差分结果全保留. 具体分类规则如下: 如果 $s_1 < T_1$, 则属于 ③类; 如果 $s_2 < T_1$, 则属于 ①类; 如果 $s_3 < T_1$, 则属于 ③类; 如果 $T_2 > |s_1 - s_4| > |s_1 - s_5|$, 则属于 ①类; 如果 $T_2 > |s_1 - s_5| > |s_1 - s_4|$, 则属于 ②类; 其余属于 ③类. 其中阈值 T_1 和 T_2 为经验值.

2.2.2 环形邻域全向差分扩展中均值滤波

中值滤波是常用的非线性滤波算法, 在比较平滑的图像中去噪的同时保留边缘的效果好, 但由于只保留了排序队列中的中值, 利用的信息少, 平滑作用不够. 相应的均值滤波器则具有平滑图像的作用, 但对高频的边缘信息不能很好地保留. 本文针对点目标探测问题的特点, 结合中值和均值滤波的优点, 提出一种基于模式预分类的扩展中-均值滤波算法, 该方法可以在一定程度上突出点目标的同时平滑掉噪声. 具体算法如下.

1) 根据背景分类结果, 保留不同的差分结果参与排序运算: ①类背景保留 $k_1 \sim k_7$, k_{15}, k_{16}; ②类背景保留 $k_7 \sim k_{15}$; ③类背景保留 $k_1 \sim k_{16}$;

2) 将参与运算的差分结果进行排序;

3) 根据背景分类结果, 保留相应中间差分结果求平均: ①类和 ②类保留中间的 5个值取算术平均值作为待处理像素滤波处理后的结果; ③类保留中间的 8个值取算术平均值作为待处理像素滤波处理后的结果.

2.3 单帧点目标检测及点目标轨迹搜索算法

点目标的检测是分两步来实现的: 在单帧图像中检测出一定数量的侯选目标点; 在多帧的连续检测中实现点目标轨迹搜索. 单帧检测过程虚警概率较高, 保证的是检测概率, 虚警概率的降低依靠的是多帧累积检测.

2.3.1 全向差分均值滤波自适应阈值分割

预处理后, 图像中背景噪声得到了有效地抑制, 同时点目标得到了有效地增强, 与其邻域像素灰度值差别进一步增大, 表现为图像中的孤立奇异点. 再次采用了 3×3邻域的全向差分均值滤波结合自适应阈值分割的算法, 可以有效地分割出侯选目标点, 具体算法如下: ①计算待处理像素 a 的 3×3邻域全向差分 $d_i = |a - a_i|(i=1, 2, \cdots, 16)$; ②更新待处理像素: $a' = 1/8\sum d_i$; ③海天相连区域处理后计算直方图; ④根据直方图确定阈值 T_3, 使得分割后得到的侯选目标点数大于等于 30; ⑤利用 T_3 进行侯选目标点的分割.

2.3.2 形态学滤波

在初步侯选目标点的基础上, 结合点目标的单像素特征, 采用形态学滤波去掉非单像素的侯选目标, 这里采用了 8连通邻域方法.

形态学滤波后得到在该帧中最终侯选目标点, 若其中包含仿真点目标, 则记该单帧检测过程正确检测出了目标; 若不包含真实的仿真点目标, 则记为在该帧的单帧检测过程中目标丢失, 下文中的单帧检测率就是这样统计得到的.

2.4　帧间侯选点目标轨迹匹配算法

为了在多帧检测过程中进一步提高检测概率, 本算法引入了匹配度 p 和目标短时丢失再搜索机制. 帧间侯选点目标轨迹匹配及目标短时丢失再搜索算法如下: ①对第 i 帧中的所有 n 个侯选目标点 t_n^i 循环匹配: 测试第 $i+1$ 帧中的所有侯选目标点 t_m^{i+1} 是否满足点匹配规则, 重复直到匹配成功或循环结束, 同时对匹配标志位 t_n 设置: 匹配成功 $t=1$, p_n+1; 匹配失败 $t=0$. ②如果 $t=0$ 并且 $p_n>2$ 则启动直接搜索, 在可能出现目标的小邻域内直接搜索: 测试区域内的像素是否满足点匹配规则, 并按照规则更新 p_n: 若有匹配成功的点, 则 p_n+1; 没有匹配成功的点, 则 p_n-1; ③侯选目标轨迹按照 p 从大到小排序, 如果最大的 $p_n>2$, 输出目标坐标; ④转第 $i+1$ 帧计算.

上面算法中的点匹配规则如下: ①考察 t_n^i 与 t_m^{i+1} 的灰度 g_n 和 g_m 是否匹配: $0\leqslant g_m-g_n<10$ 则匹配成功; ②考察 t_n^i 与 t_m^{i+1} 的坐标 (x_n, y_n) 和 (x_m, y_m) 是否匹配: $1\leqslant x_m-x_n\leqslant 5$ 并且 $1\leqslant y_m-y_n\leqslant 5$ 则匹配成功. 仿真表明, 本文直接再搜索机制的引入提高了连续帧检测过程中的点目标检测概率.

3　仿真实验与结果分析

3.1　实验图像

采用 384×288像素的实拍红外序列图像中加入仿真点目标作为实验图像. 共两个场景各 11帧, 第 1帧图像如图 1所示. 在每帧图像中加入一个单像素仿真点目标, 绝对运动速度小于 5像素/帧, 灰度范围为 [180, 250], 相邻帧之间目标的灰度变化保持连续 (<5). 点目标的 SNR 为 0.5~2, 背景选取为海天相连的特定区域, 相比较将整幅图像做为背景来计算而言, 本文条件下计算得到的目标 SNR数值偏大. 另外未添加仿真目标的 22帧图用以考察虚警概率.

3.2　结果分析

1) 检出概率. 单帧检测的正确率为 91%, 20帧发生目标丢失现象, 目标漏检原因是点目标的 SNR 太低. 连续检测 3帧以上时, 检测正确率提高到 95%. 对应的 22帧未添加仿真点目标的序列图像中, 连续 3帧以上的检测过程中出现虚警的次数为 0.

2) 目标运动速度的限制条件. 仿真目标的移动速度选取 2~5像素/帧. 本算法适用于目标在相邻帧之间移动距离大于一个像素的情况.

3) 检测速度. 仿真实验平台为 Pentium 4 (1.8G)512M 内存 PC机, 采用 VC++编程实现, 单帧检测平均用时 <0.1 s. 考虑算法进一步优化和将来利用硬件来实现, 本算法实时实现是完全可以达到的.

4　结束语

本文针对海天混杂闪烁复杂背景提出了一种红外序列图像中运动点目标检测新方法. 其主要创新: ①设计了海天相连区域快速定位算法和基于背景模式预分类的扩展中-均值滤波预处理算法, 为单帧图像中侯选点目标分割打下了良好的基础; ②采用全向差分均值滤波结合基于直方图的自适应阈值分割出侯选目标点, 并且利用形态学滤波保留了单像素的侯选目标点; ③在帧间侯选目标点轨迹匹配时引入了轨迹匹配度以及目标短暂丢失时直接重新再搜索机制, 使得在连续检测过程中虚警概率得到有效抑制的同时进一步提高了检测概率. 仿真结果验证了本文算法的综合性能, 为实际工程应用提供了一种新的技术途径.

参考文献 (References)

[1] 李智勇, 沈振康, 杨卫平, 等. 动态图象分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 151-159
Li Zhiyong, Shen Zhenkang, Yang Weiping, et al. Dynamic image analysis [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999. 151-159 (in Chinese)

[2] 张弘, 赵保军, 史彩成, 等. 一种快速实时的低信噪比红外点、斑点目标检测方法 [J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(6): 378-381
Zhang Hong, Zhao Baojun, Shi Caicheng, et al. Real-time speedy detection of infrared dim point and spot targets [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2001, 21(6): 378-381 (in Chinese)

[3] 陈非, 敬忠良, 李建勋. 红外序列图像中缓动点目标的投影检测算法及其改进 [J]. 红外与毫米波学报, 2003, 22(2): 96-100
Chen Fei, Jing Zhongliang, Li Jianxun. Improvement to projection detection of slowly moving point target in infrared image sequences [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2003, 22(2): 96-100 (in Chinese)

[4] Zhu Fengyun, Qin Shiyin. A moving IR point target detection algorithm based on reverse phase feature of neighborhood in difference between neighbor frame images [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2006, 19(3): 225-232

[5] 刘松涛, 周晓东, 王成刚. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究 [J]. 光电工程, 2006, 33(8): 5-10
Liu Songtao, Zhou Xiaodong, Wang Chenggang. Robust sea-sky-line detection algorithm under complicated sea-sky background [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(8): 5-10 (in Chinese)

(责任编辑: 刘登敏)