

文章编号: 1672-8785(2015)05-0021-04

基于目标能量的远距离红外 空间目标提取算法

吴澄跃 汤心溢 周 妮 刘士建

(中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 提出了一种基于目标能量的红外目标提取算法。这种算法利用目标相对角速度大于瞬时视场时图像会产生拖尾的现象, 采用能量叠加来增强目标与背景的信噪比, 从而实现对信噪比小于或等于 5 的远距离红外空间目标的探测和跟踪。此算法运算量小, 可在硬件上实现。实验表明, 此算法能实时探测和跟踪距离不小于 15 km 的红外空间目标, 且探测概率可达 96%。

关键词: 空间目标; 弱小红外目标跟踪; 目标特征提取

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.05.005

An Extraction Algorithm for Remote Infrared Target Detection Based on Energy Accumulation

WU Ying-yue, TANG Xin-yi, ZHOU Ni, LIU Shi-jian

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: An infrared target extraction algorithm based on the energy of a target is proposed. By utilizing the phenomenon that the image may smear when the relative angular velocity of a target exceeds the instantaneous field of view, the algorithm enhances the signal-to-noise ratio of the target and background through energy accumulation. Thus, a remote infrared target with the signal-to-noise ratio less than or equal to 5 can be detected and tracked. The algorithm has a small computation amount and is easy to be implemented on hardware. The experimental result shows that this algorithm can detect and track an infrared target which is 15 kilometers away with a detection probability of 96%.

Key words: infrared target; dim and small infrared target tracking; target characteristic extraction

0 引言

21 世纪以来, 各国的军事综合素质从海陆空逐渐向空间扩展, 如何在外太空占一席之地已成为各国的重中之重; 其中, 空间目标监视系统越来越受到各国的重视。空间目标监视系统包括地基目标监视系统和天基目标监视系统

[1,2]。地基监视系统是整个空间目标监视系统的最重要的基础。然而地基探测器极易受光照和气象等条件的影响, 这使得光学、雷达等探测器很难对高轨目标进行监视。因此天基空间目标监视系统就显得越来越重要, 近些年逐渐成了空间监视系统的一个重要发展方向。

红外传感器以其全天候、全天时工作的特

收稿日期: 2015-03-16

基金项目: 国家十二五国防预研项目 (41101050501), 上海市现场物证重点实验室基金资助项目 (2011xcwzk04)。

作者简介: 吴澄跃 (1980-), 男, 浙江诸暨人, 副研究员, 主要从事光电对抗技术方面的研究工作。

E-mail: wyyhit@163.com

点,被广泛应用于天基空间目标跟踪系统中^[3]。虽然空间目标的背景温度低,没有景物干扰,而只有系统白噪声的影响,但当系统观测远距离的红外目标(≥ 15 km)时,目标特征呈现为点目标,缺少形状信息,同时目标信号的幅值相对于背景噪声很弱,信噪比很低,一般目标与背景的信噪比 $SNR \leq 5$ 。所以采用常规的目标特征提取算法^[4-7]已经无法正确提取出目标。针对以上特点,本文提出了一种基于目标能量的红外空间目标提取算法。这种算法利用目标相对角速度大于瞬时视场时图像会产生拖尾现象这一特点,通过计算累积能量来增强目标与背景的信噪比,从而实现了信噪比小于或等于 5 的远距离红外目标的探测和跟踪。实验结果表明,采用此算法能实时探测和跟踪距大于或等于 15 km 的红外空间目标,且探测概率可达 96%。

1 算法描述

当凝视焦平面红外探测器探测远距离的空间目标时,由于一个探测单元的面积大于空间目标的投影面积,目标的视张角小于或等于系统的瞬时视场,因此此时空间目标为点源目标。其探测距离的估算公式为^[8]

$$R = \left(\frac{I_t A_0 \tau_a \tau_o}{SNR} \frac{D^*}{\sqrt{A_d \Delta f}} \right)^{(1/2)} = \left(\frac{\pi I_t \tau_a \tau_o D_0^2 \xi D^*}{4 \sqrt{A_d \Delta f} (SNR)} \right)^{(1/2)} \quad (1)$$

式中, I_t 为目标辐射强度,单位为 W/sr; A_d 为探测器单元面积,单位为 cm^2 ; Δf 为噪声等效带宽,单位为 Hz; D^* 为探测器的探测率,单位为 $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$; D_0 为光学系统的入瞳直径,单位为 cm; A_0 为光学系统的入瞳面积,单位为 cm^2 ; τ_a 为大气透过率; τ_o 为光学系统的透过率; ξ 为过程因子; SNR 为系统的信噪比。

从式(1)中可以看出,对于空间点源目标来说,信噪比是决定系统探测距离的主要因素。一般来说,当探测距离大于或等于 20 km 时,目标与背景的信噪比 $SNR \leq 5$ 。如果采用常规的目标特征提取算法(如局部阈值法),只有降低阈值才能提取出目标。但是降低阈值会把噪声当

作目标提取出来,无法正确可靠地提取出潜目标。本文提出了一种基于目标能量的红外空间目标提取算法。这种算法利用目标相对角速度大于瞬时视场时图像会产生拖尾的现象,通过能量叠加来增强目标与背景的信噪比,从而实现对目标与背景的信噪比小于或等于 5 的远距离红外空间目标的探测和跟踪。

本算法的基本流程如下:

(1) 计算图像中每个像元 3×3 的和,然后隔一行再减去其背景:

$$I_o(x, y) = \sum_{j=-1}^l \sum_{i=-1}^l I_i(x+i, y+j) - \sum_{l=-2}^2 \sum_{k=-2}^2 I_i(x+k, y+l) \quad (2)$$

式中, I_i 和 I_o 分别为原始图像和预处理图像; x, y 分别为每一点在图像中的位置; k 和 l 的步长为 2。

(2) 遍历图像,如果当前点和其背景点的差值超过阈值,则将其视为潜目标,置 1,否则就将其视为背景,置 0:

$$\text{Bin}(x, y) = \begin{cases} 1 & I_o(x, y) - I_o(x-2, y) \geq T \\ 0 & I_o(x, y) - I_o(x-2, y) < T \end{cases} \quad (3)$$

式中, Bin 为二进制图像, T 为阈值, I_o 为式(2)处理后的图像。

图 1 为目标和噪声的 5×5 灰度示意图。如果采用局部阈值,如图 2 所示,目标和噪声与背景的灰度差都为 20,也就是说,目标和噪声具有相同的特性,无法把目标提取出来。但是如果采用本文的算法,如图 3 所示,目标与背景的灰度差为 60,噪声与背景的灰度差为 21,采用 $T=30$ 的阈值就能把目标提取出来,从而将其作为之后航迹匹配所需的潜目标。然后根据目标出现的位置和扫描速度等来预测下一帧的目标位置。若关联 3 帧,则认为此潜目标为真实目标。

4300	4301	4300	4298	4301
4299	4296	4299	4305	4302
4302	4304	4320	4315	4299
4300	4302	4307	4314	4300
4303	4301	4297	4302	4301

(a)

4301	4304	4301	4297	4302
4299	4296	4299	4305	4302
4301	4304	4321	4301	4299
4303	4302	4300	4301	4300
4301	4302	4302	4296	4301

(b)

图 1 目标和噪声的灰度示意图

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	20	14	0
0	0	0	13	0
0	0	0	0	0

(a)

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	20	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b)

图 2 采用局部阈值后, 目标和噪声的差值示意图

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	60	59	0
0	0	0	57	0
0	0	0	0	0

(a)

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	21	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b)

图 3 用式 (2) 处理后, 目标和噪声的差值示意图

2 实验结果及分析

此算法完全使用 C 语言编写, 并运行在基于 DSP 芯片 TMS320C6455DGADW 的实时信号处理板上。DSP 的工作时钟频率为 1 GHz, 能对分辨率为 640×512 、帧频为 100 Hz 的红外数据进行实时探测和跟踪, 跟踪结果采用视频形式输出。

实验采用两种数据源进行注入, 一种是计算机模拟的仿真数据, 用于验证算法的有效性。另一种是真实数据, 即采用高灵敏度碲镉汞长波红外焦平面传感器作为采集设备在真空罐中实时地对目标进行探测和跟踪。图 4 和图 5 分别为仿真图像和真实图像的实验结果。

仿真图像的平均灰度为 2000, 背景添加了高斯噪声, 服从 $N(0,4)$ 。目标为点目标, 它与背景的信噪比为 4, 目标从图像 (0,128) 位置出现, 每帧移动 32 个像元, 10 帧后移出图像。从图中可以看出, 系统能探测并跟踪上信噪比为 4 的目标。

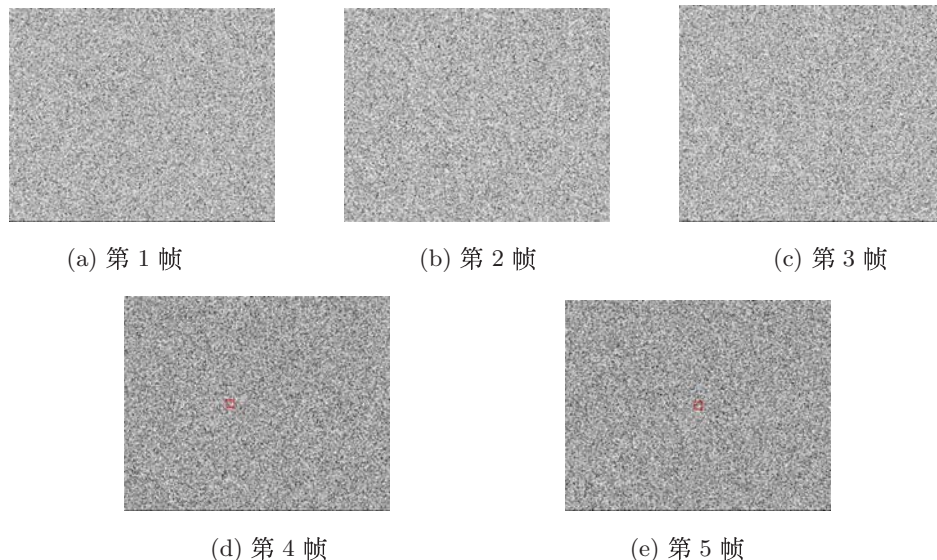


图 4 仿真图像的实验结果

真实图像采用某次外场试验无人机的红外图像, 其平均灰度为 4300; 目标大小为 3 个像素, 目标灰度为 4320。从图中可以看出, 系统能实时地探测并跟踪目标。



图 5 真实图像的实验结果

3 小结

利用目标相对角速度大于瞬时视场时图像会产生拖尾的现象, 提出了一种基于目标能量的红外空间目标提取算法, 使天基空间目标跟踪系统的探测概率得到了提高。实验分别采用计算机仿真的数据和真实数据对此算法的有效性和实时性进行了验证。结果表明, 此算法能实时

探测和跟踪信噪比小于或等于 5 的红外空间目标, 且探测概率可达 96%。

参考文献

- [1] 温佩芝, 史泽林, 于海斌. 复杂海面背景红外小目标自动检测方法 [J]. 红外与激光工程, 2003, 32(6): 590-593.
- [2] 邓晓兰, 林海平. 空间目标红外微弱信号特征提取检测技术 [J]. 电信技术研究, 2004(1): 689-692.
- [3] 王晓雪. 基于图像特征的空间目标识别方法研究 [J]. 自动化学报, 1992, 18(2): 232-238.
- [4] Agazzi O, Kuo S. Hidden Markov Models Based Optical Character Recognition in Presence of Deterministic Transformation [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(12): 1813-1826.
- [5] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision [M]. CI-engineering, 2003: 156-188.
- [6] Sung K K. Learning and Example Selection for Object and Pattern Detection [D]. Boston: MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1996: 225-228.
- [7] R.D. 小哈德逊. 红外系统原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1975: 152-153.
- [8] Samaria F, Harter A. Parameterisation of a Stochastic Model for Human Face Identification [A]. In: IEEE Workshop on Application of Computer Vision [C]. FL, USA, 1994: 138-142.