

## 红外双波段点目标双色比分析与处理

王文博, 王英瑞

(北京遥感设备研究所, 北京 100854)

**摘要:** 红外双色比能够表征目标的温度信息, 但点目标双色比受噪声、探测器盲闪元以及跨像元因素干扰, 难以准确测量, 影响测温精度。应用递归图法定性分析和判断了点目标双色比的非平稳性。针对这一特性, 先对点目标信号应用移动平均滤波做预处理, 再通过小波软阈值去噪对双色比进行降噪处理。试验结果表明, 在信噪比大于 12 的条件下, 该方法可以实现静态点目标 1 K 温度分辨率, 慢速动态点目标 2 K 温度分辨率。

**关键词:** 红外双波段; 点目标; 温度测量; 非平稳; 小波软阈值

**中图分类号:** TN219    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2015)08-2347-04

## Analysis and processing of infrared dual waveband radiation ratio based point target

Wang Wenbo, Wang Yingrui

(Institute of Beijing Remote Sensing Device, Beijing 100854, China)

**Abstract:** Infrared dual waveband radiation ratio can denote the blackbody's temperature information, and can be used for temperature measurement. When using infrared dual waveband radiation ratio to measure the temperature of point target, it is difficult to achieve high-accuracy because of various kinds of noises. The recurrence plot theory was used to analyze the non-station of infrared dual waveband radiation ratio. According to the non-station of infrared dual waveband radiation ratio, the target's response signal in IR single waveband was processed by moving average filter. The IR dual waveband radiation ratio was processed by wavelet soft-threshold filter. Experimental result indicate that, when the SNR > 12, 1 K temperature accuracy can be achieved with above processing method for static point target, and 2 K temperature accuracy can be achieved for slow moving point target.

**Key words:** infrared dual waveband; point target; temperature measurement; non-station; wavelet soft-threshold

收稿日期: 2014-12-11; 修订日期: 2015-01-14

作者简介: 王文博(1990-), 男, 硕士生, 主要从事光电信息处理方面的研究。Email: webowang@163.com

导师简介: 王英瑞(1961-), 男, 研究员, 主要从事红外光电系统设计方面的研究。Email: wyrui25060101@sina.com

## 0 引言

为了提高目标识别能力,红外双波段(多波段)系统得到了越来越多的应用,如美国为了提高对付具有诱饵等对抗措施的弹道导弹的能力,将其动能拦截弹 SM-3 的 Block1B 和 Block2 采用双色长波红外的红外成像导引头来代替原先的单色导引头<sup>[1]</sup>。红外双波段探测系统可以通过双色比测温获取目标和诱饵的温度信息。双色比的精度越高,系统对目标的温度分辨率越高,也越有利于识别。但是受到大气透过率、探测系统噪声等因素的影响,双色比难以准确获取,尤其是在对远距离点目标探测的红外系统中,运动点目标的双色比还受到光学弥散、目标跨像元现象和盲闪元等的影响,波动更大。因此,分析研究点目标红外双色比的特性和处理方法,对红外探测系统实现较高温度分辨率,区分真实目标与诱饵具有重要意义。

## 1 红外双波段测温原理

黑体辐射遵从普朗克公式,在一定温度下, $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 、 $\lambda_3 \sim \lambda_4$  的两个波段内辐射之比为一定值,温度不同该比值不同,由该比值,可以反推出黑体的温度。考虑到两个波段的目标辐射面积和接收光学孔径等参数相同,双波段红外探测系统对目标两个波段的响应信号之比,即双色比,只与目标的温度、发射率、大气衰减、系统响应率等有关,如公式(1)所示:

$$K = \frac{\overline{R_1} \times \overline{\varepsilon_1} \times \overline{\tau_1}}{\overline{R_2} \times \overline{\varepsilon_2} \times \overline{\tau_2}} \times \frac{M(\lambda_1, \lambda_2, T)}{M(\lambda_3, \lambda_4, T)} \quad (1)$$

式中: $\overline{R_1}$ 、 $\overline{\varepsilon_1}$ 、 $\overline{\tau_1}$ 和 $\overline{R_2}$ 、 $\overline{\varepsilon_2}$ 、 $\overline{\tau_2}$ 分别为波段 1 和波段 2 的平均响应率、平均发射率、大气平均透过率。

当大气透过率、目标发射率和系统波段响应已知时,通过公式(1)双色比,可以对目标进行测温,为系统识别真假目标提供温度信息。

图 1 为计算的长/长波波段(7.5~9 μm/9.5~11 μm)双色比曲线,这里不考虑大气衰减且目标在两个波段上的发射率、波段响应率相等,温度为 250~350 K 时。该曲线的最大斜率为 0.003 5/K,这意味着当系统要求温度测量精度为 1 K 时,双色比的提取误差要小于 0.003 5。

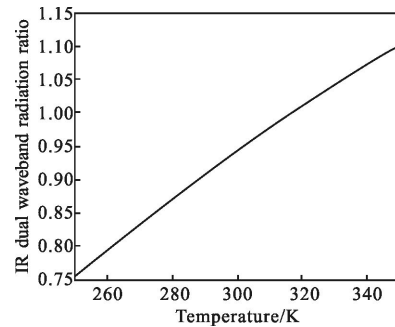


图 1 中长波波段目标双色比仿真曲线

Fig.1 Simulated curve of MW/LWIR radiation ratio

## 2 红外双波段点目标双色比特性分析

对于面目标,目标辐射功率分布在多个焦平面像元上,两个波段上目标的响应信号受噪声影响小,波动范围较小,由此可直接获取较高精度双色比。

对于点目标,一方面,当目标运动时存在跨像元现象,目标的响应信号值有起伏,且探测器像元的填充率越小,跨像元引起的信号起伏越大;另一方面,探测器噪声、盲闪元等因素会直接拉偏目标响应信号真值。这些因素会导致点目标双色比难以测准。

图 2 所示为点目标在运动过程中的几种典型情况:图(a)中目标的主要能量集中在一个像元上,这时目标的响应信号值主要受像元噪声影响,起伏较小;图(b)中目标运动过程中跨两个像元,主要能量分散在两个像元上,目标响应信号值从(a)到(b)有较大起伏;图(c)中目标主要能量分散在四个像元上,目标响应信号值从图(a)到图(c)起伏更大;图(d)中运动目标经过盲闪元等坏元,目标响应信号值直接被拉偏,不能表示目标信号的响应。

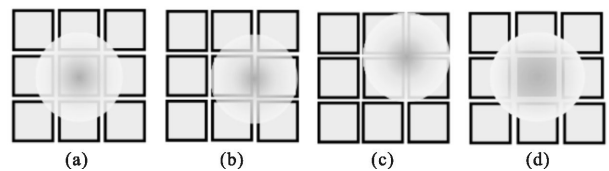


图 2 点目标几种典型跨像元现象

Fig.2 Crossing-pixels phenomenon of moving point target

图 3 为某红外双波段探测系统实测的 300 K 黑体点靶标的双色比。由图 3 可知,静态点目标双色比波动范围较小,大约为 0.004(见图 3(a));动态点目标双色比波动范围较大,其波动范围大约为 0.02(见图 3(b)),为静态点双色比波动范围的 5 倍,其测

温精度相比下降 5 倍。

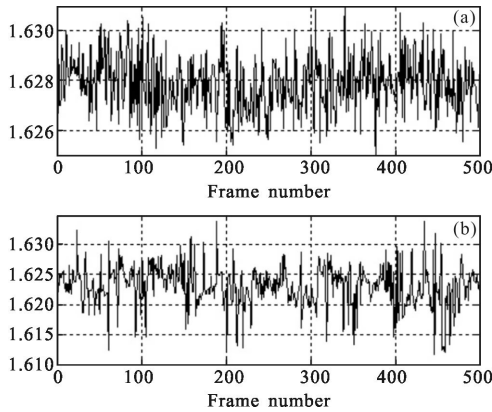


图 3 300 K 黑体点靶标双色比

Fig.3 IR dual waveband radiation ratio of 300 K blackbody point target

点目标在连续帧上的双色比可以看作一个时间序列,为了研究双色比的特性,可以应用时间序列分析方法。这里应用递归图法对双色比进行定性分析。递归图法可以定性分析与判断时间序列非平稳性、周期性以及混沌性<sup>[2]</sup>。它基于相空间重构,可以直观地反映时间序列的内在属性。递归图法方法如下:

设  $\{X_n\}_{n=1}^N$  为观测获得的长度为  $N$  时间序列,将其重构为  $m$  维的状态向量:

$$X_i = (X_i, X_{i-\tau}, \dots, X_{i-(m-1)\tau}) \in R^m$$

$$n = N_0, N_0+1, \dots, N \quad (2)$$

式中:  $N_0 = (m-1) \times \tau + 1$ ,  $\tau$  是延迟时间间隔。  $m$  是嵌入空间的维数。每一个  $X_i$  是  $m$  维嵌入空间的一个点,表示系统在  $i$  时刻的状态。用  $L_2$  范数定义  $R^m$  空间中  $X_i$  到  $X_j$  的距离为  $\|X_i - X_j\|_2$ ,当两个时刻的距离小于某个取定的阈值  $\epsilon$  时,认为两个时刻状态相似,系统处于递归状态,在递归图中用 1 表示;当大于阈值  $\epsilon$  时,认为系统状态不相同,系统不处于递归状态,在递归图中用 0 表示<sup>[3]</sup>。

分别对实验采集的静态和动态点目标双色比应用递归图法进行分析,图 4(a)、(b)为计算得到两个

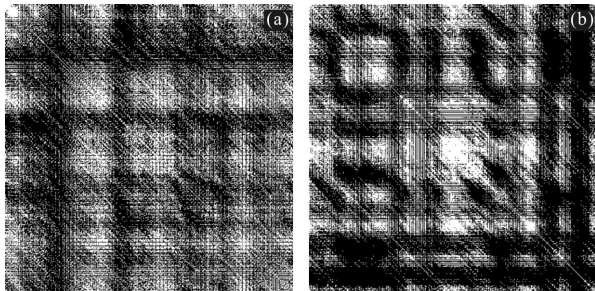


图 4 静态点目标双色比递归图和动态点目标双色比递归图  
Fig.4 Recurrence plot of IR dual waveband radiation ratio based static point target and that of moving point target

双色比序列的递归图。可以看出,递归图上点的分布是不均匀的,且存在与主对角线平行的直线。符合非平稳时间序列在递归图中点的分布特征<sup>[4]</sup>,说明点目标双色比是非平稳的。

### 3 红外双波段点目标双色比处理

对于非平稳的时间序列分析和处理,一般有短时傅里叶变换(STFT)、Hilbert-Huang 变换、小波变换等算法<sup>[5]</sup>。这里采用小波软阈值去噪方法处理点目标双色比。小波变换能很好地检测信号中的各个奇异点;软阈值方法则能根据各小波空间上特征分量和噪声的统计特性选择合适的阈值来消除噪声,在去噪的基础上能很好地保留信号的特征值,两者的结合可以很好地滤除噪声、保留有效信息<sup>[6]</sup>。

在实验室搭建了由黑体点靶标、速度可控二维转台、平行光管组成的测试平台,图 5 为测温实验平台示意图。使用某红外双波段探测系统,在 293~343 K 温度范围内,每隔 1 K 采集了大量信噪比大于 12 的静态和动态点目标双波段图像,其中动态点目标的帧间位移不大于两个像元。

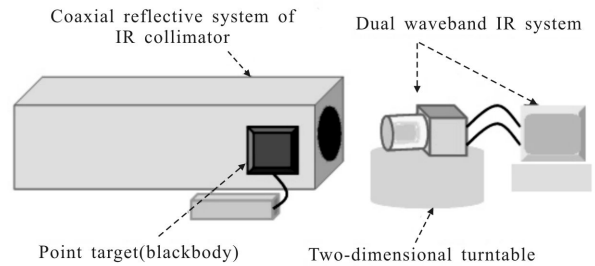


图 5 双波段点目标测温测试平台示意图

Fig.5 Schematic diagram of dual waveband IR temperature measuring system

选取实验采集的点目标双色比进行小波软阈值滤波,原始数据和处理结果如图 6 所示。图 6(a)为 293 K 和 294 K 的静态点目标双色比,其波动较大,存在一定的交叠;图 6(b)为 303 K 和 305 K 的动态点目标双色,波动范围更大,交叠更多。这意味着如果不对双色比序列做相应的处理,不能达到较高的温度分辨率。在对双色比应用小波软阈值去噪后,仍具有较多突变值,不能很好地实现静态点目标 1 K 温度分辨率和动态点目标 2 K 温度分辨率。

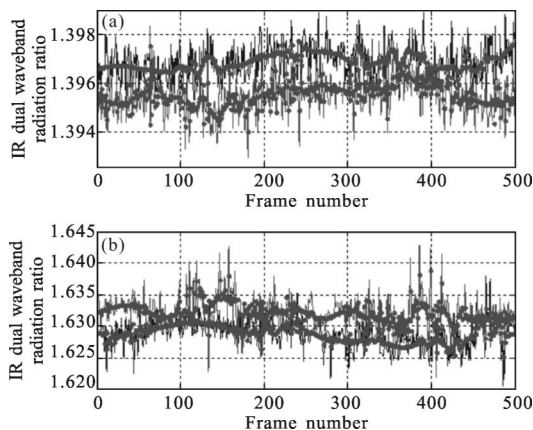


图 6 静态和动态点目标双色比原始数据和小波软阈值去噪处理结果

Fig.6 Static and moving point target radiation ratio and the processing result of wavelet soft-threshold denoising

点目标由于跨像元、盲闪元导致的单波段响应信号起伏较大是双色比突变值产生的主要原因。为了平滑单波段点目标响应信号的波动,减小双色比突变值的影响,同时保持信号的主要特征,首先对点目标在单波段上的信号做预处理,即应用移动平均滤波器分别对双波段上的点目标信号滤波,减小信号突变值的影响。然后计算双色比,并对双色比进行小波软阈值滤波,处理结果如图 7 所示。由图 7 可见,在应用上述方法后,处理结果仍然能够反映原始信号的主要特征,并且有效地减小了信号中突变值的影响,能很好地区分两条双色比曲线,实现了静态点目标 1 K 温度分辨率和动态点目标 2 K 温度分辨率。

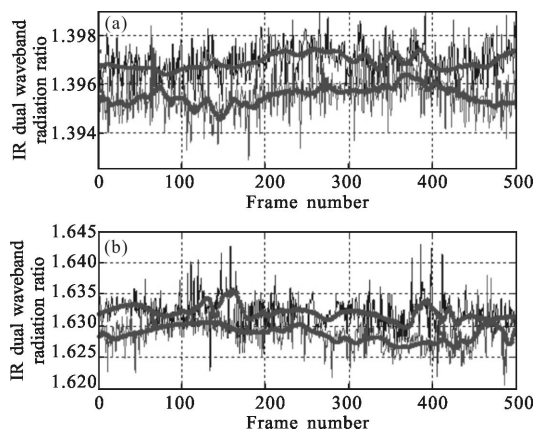


图 7 文中方法处理结果

Fig.7 Processing result of the method in this paper

## 4 结论

应用递归图法分析了点目标红外双色比具有非平稳性。通过对点目标信号应用移动平均滤波,减少了运动过程中响应信号突变值的干扰;在此基础上再应用小波软阈值去噪,对双色比进行滤波处理,提高了测温精度。试验结果表明,在信噪比大于 12 条件下,对于静态点目标可以实现 1 K 温度分辨率,对于慢速动态点目标可以实现 2 K 温度分辨率。该点目标双色比的分析处理方法对红外探测系统的点目标测温研究有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] Fan Jinxiang. Development analysis of infrared imaging seekers of kinetic kill vehicles in America [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(1): 1-6. (in Chinese)  
范晋祥. 美国动能拦截弹红外成像导引头的发展分析[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(1): 1-6.
- [2] Li Xinjie, Hu Tiesong, Dong Xiuming. Application of recurrence plots to nonlinear Analysis of Runoff Time Series [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2013, 46(1): 62-66. (in Chinese)  
李新杰, 胡铁松, 董秀明. 递归图法在径流时间序列非线性分析中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2013, 46(1): 62-66.
- [3] Wang Haiyan, Lu Shan. The Analysis and Application of Nonlinear Time Series[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)  
王海燕, 卢山. 非线性时间序列分析及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [4] Yang Dong, Ren Weixin. Non-stationarity evaluating for vibration signals using recurrence plot [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2011, 30(12): 39-43. (in Chinese)  
杨栋, 任伟新. 基于递归分析的振动信号非平稳性评价[J]. 振动与冲击, 2011, 30(12): 39-43.
- [5] Bian Hailong. The research of some problems in non-stationary signals time-frequency joint analysis methods and application [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2008. (in Chinese)  
边海龙. 非平稳信号联合时频分析方法的若干问题研究与应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- [6] Ouyang Sen, Song Zhengxiang, Chen Degui, et al. Application of wavelet soft-threshold de-noising technique to power quality detection[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2002, 26(19): 56-60. (in Chinese)  
欧阳森, 宋政湘, 陈德桂, 等. 小波软阈值去噪技术在电能质量检测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(19): 56-60.