

## 采用综合信噪比的中波光谱探测波段选择

许元男, 李军伟, 吴开峰, 毛宏霞, 董雁冰

(光学辐射重点实验室, 北京 100854)

**摘要:** 中波红外是非常重要的探测波段, 对于目标探测而言, 在保证足够光子数的情况下, 进行波段选择有利于更好地区分目标与背景。针对典型目标及其所在区域的背景的中波红外光谱辐射特性, 分析了信噪比和信杂比对探测的影响, 提出了一种基于综合信噪比的波段选择方法, 该方法综合考虑了传感器噪声、背景杂波辐射对目标探测的影响, 计算了典型状态下目标信噪比、信杂比和综合信噪比, 从仿真结果来看, 不同典型场景下能使目标探测的综合信噪比较高的波段并不相同, 从而给出不同场景下最优探测波段的建议。白天探测该目标, 3~3.7  $\mu\text{m}$  可以考虑作为优选波段, 在夜间探测该目标, 3~5  $\mu\text{m}$  可以考虑作为优选波段。

**关键词:** 中波红外; 光谱; 波段选择; 综合信噪比

**中图分类号:** TN216 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)07-2126-06

## Detection band selection for mid-wave infrared spectrum using synthetic signal-to-noise ratio

Xu Yuannan, Li Junwei, Wu Kaifeng, Mao Hongxia, Dong Yanbing

(Science and Technology on Optical Radiation Laboratory, Beijing 100854, China)

**Abstract:** Mid-wave infrared is an important detection band. For target detection, the band selection can better distinguish the target and the background in the condition of ensuring a sufficient number of photons. For the mid-wave infrared spectrum characteristic of the representative targets and background, the detection effect of signal-to-noise ratio (SNR) and signal-to-clutter ratio (SCR) was analysed. The band selection method based on synthetic signal-to-noise ratio (SSNR) was proposed. The sensor noise and radiation of background clutter were considered synthetically in this method. The target SNR, SCR and SSNR in some representative conditions were calculated. Simulation results show that the band of high SSNR is different in the different type scenes. The advice of optimization detection band is proposed. In the condition of daytime detection, 3~3.7  $\mu\text{m}$  can be considered as a preferred band. In the condition of night detection, 3~5  $\mu\text{m}$  can be considered as a preferred band.

**Key words:** MWIR; spectrum; band selection; synthetic SNR

收稿日期: 2013-11-07; 修订日期: 2013-12-15

基金项目: 国家 863 计划(2012AA7032028A)

作者简介: 许元男(1983-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事目标光学特性与识别方面的研究。Email: xuyuannan@126.com

## 0 引言

在红外遥感与侦察中,中波 3~5  $\mu\text{m}$  是一个非常重要的探测波段<sup>[1-3]</sup>。某典型目标一般在某些特定区域出现,不同观测时间和下视观测角度下目标和背景的红外辐射特性并不相同,而目标上的电子设备开、关机状态也会对目标的红外辐射特性造成较大的影响。针对某典型目标,为了选取最佳的探测波段,需要从目标与背景的光谱辐射特性入手,综合考虑目标与传感器噪声、背景杂波辐射对目标探测的影响,对波段选择方法进行研究,对优选的探测波段提出建议。

## 1 光谱特性与波段选择

通过对目标及背景中波红外光谱的建模,可以获得典型观测条件下,典型目标和背景的红外辐射特性。在某种典型观测条件下,中波波段(3~5  $\mu\text{m}$ )的典型目标在探测器口面处的光谱辐射强度如图 1(a)所示,背景光谱辐射亮度如图 1(b)所示。

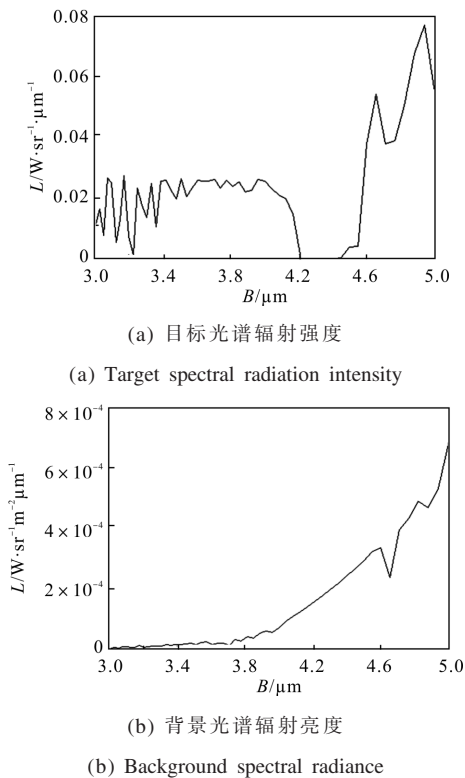


图1 目标与背景的中波光谱辐射特性

Fig.1 Mid-wave infrared spectral radiation characteristics of the target and background

波段选择是为了更好地实现对目标的有效探测,提高探测概率,降低虚警概率。这就需要在该波段内,目标信号强,背景和噪声对目标探测的干扰小。一般是采用信杂比和信噪比,对目标与背景、噪声的可探测性分别进行描述,其中信杂比主要描述目标与背景的辐照度差异,而信噪比主要描述目标与传感器噪声等效的辐照度差异<sup>[4-6]</sup>。

$$SCR = \frac{E_t}{E_b} \quad (1)$$

$$SNR = \frac{E_t}{NEFD} \quad (2)$$

式中: $E_t$ 为目标辐射照度; $E_b$ 为背景辐射照度; $NEFD$ 为噪声等效功率密度。

为了实现对目标具有高探测概率与低虚警概率,不仅需要目标在波段内信号最强,系统噪声最弱,还要求背景对目标造成的干扰较小。而波段选择需要综合考虑上述两方面的因素<sup>[7-8]</sup>,所以采用综合信噪比的描述方法。综合信噪比(Synthetic Signal-to-noise Ratio, SSSNR)定义为:

$$SSNR = \frac{E_t}{\sqrt{E_b^2 + NEFD^2}} \quad (3)$$

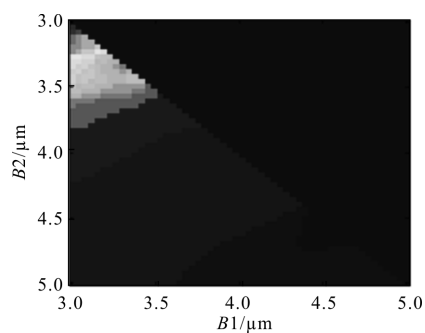
由此,可以计算出不同起止波长的信杂比、信噪比和综合信噪比,并以综合信噪比峰值的 0.7 倍设为阈值,对综合信噪比的图进行阈值分割,可以获得较优的探测波段区间。

## 2 算例分析

根据不同观测条件和状态下的中波红外多光谱的建模结果,设置相应的目标与传感器参数,从而获取相应的 SCR、SNR、SSNR,并针对综合信噪比获得优选探测波段区间。

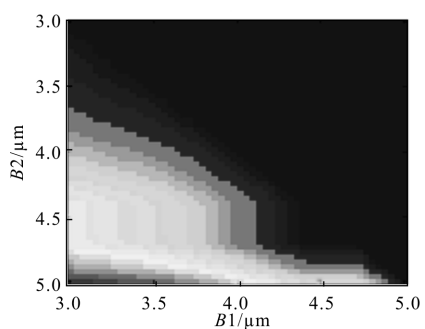
### 2.1 白天情况

目标工作时段不定,可能在白天也可能在夜晚。在白天条件下,典型目标在某一典型飞行高度时,电子设备开、关机状态下的信杂比、信噪比、综合信噪比和综合信噪比阈值分割的结果,分别如图 2、3 所示,其中  $B1$  表示起始波段的值, $B2$  表示终止波段的值。



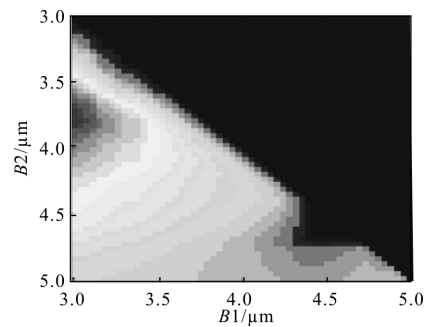
(a) 信杂比

(a) Signal-to-clutter ratio



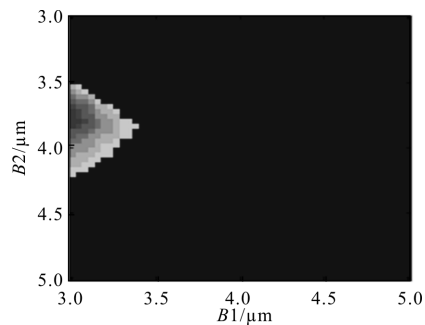
(b) 信噪比

(b) Signal-to-noise ratio



(c) 综合信噪比

(c) Synthetic signal-to-noise ratio

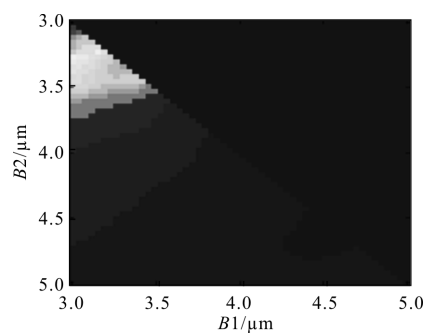


(d) 综合信噪比阈值分割的结果

(d) Threshold segmentation results of synthetic SNR

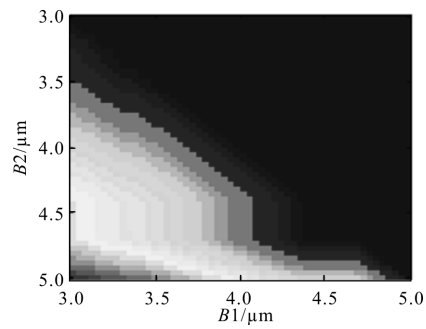
图 2 某一高度下电子设备开机结果

Fig.2 Electronic devices bootup results in a certain height



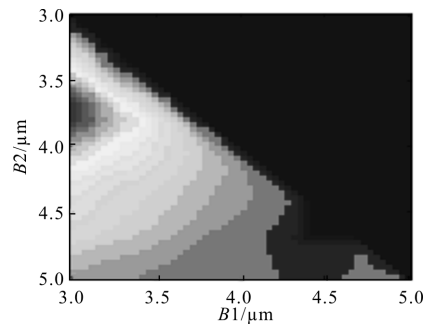
(a) 信杂比

(a) Signal-to-clutter ratio



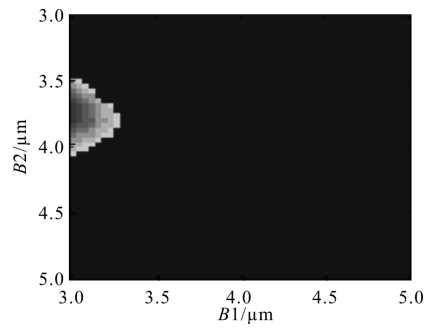
(b) 信噪比

(b) Signal-to-noise ratio



(c) 综合信噪比

(c) Synthetic signal-to-noise ratio



(d) 综合信噪比阈值分割的结果

(d) Threshold segmentation results of synthetic SNR

图 3 某一高度下电子设备关机结果

Fig.3 Electronic devices shutdown results in a certain height

在典型目标在另一典型飞行高度时,电子设备开、关机状态下的的信噪比、信噪比、综合信噪比和

信噪比阈值分割的结果,分别如图 4、图 5 所示。对第一种飞行高度的结果进行平均,其中SSNR

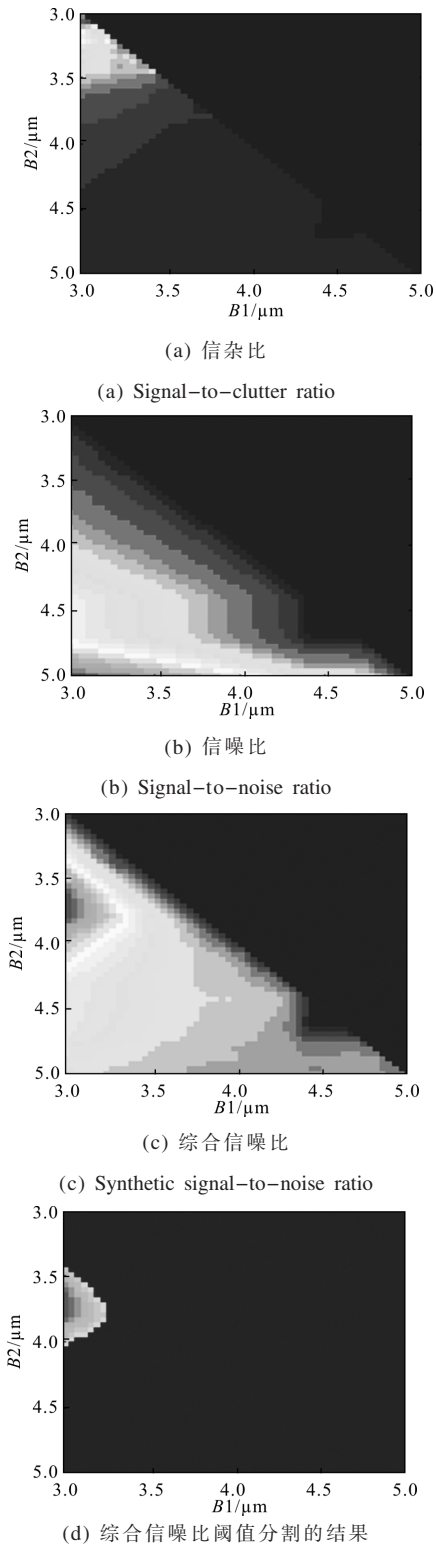


图 4 另一高度下电子设备开机结果  
Fig.4 Electronic devices bootup results in another certain height

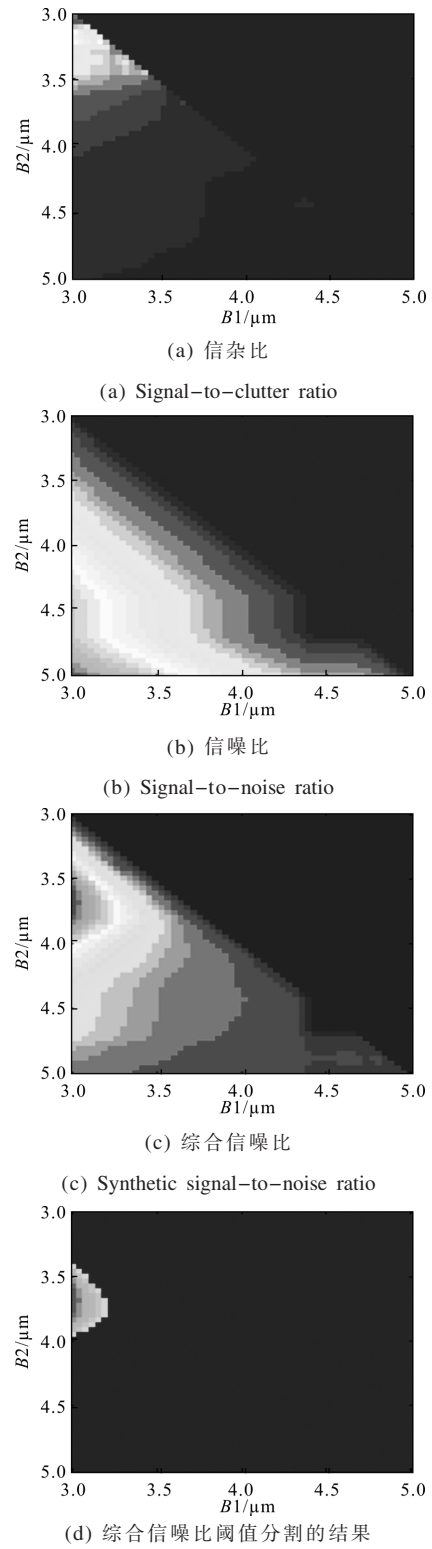


图 5 另一高度下电子设备关机结果  
Fig.5 Electronic devices shutdown results in another certain height

最高的波段为 3~3.80  $\mu\text{m}$ ，对另一种飞行高度结果进行平均，其中 SSNR 最高的波段为 3~3.68  $\mu\text{m}$ ；全部进行平均的结果，SSNR 最高的波段为 3~3.72  $\mu\text{m}$ 。

在白天条件下，对开机或关机的综合信噪比结果进行平均，如图 6、7 所示。对开机、关机的结果进行平均，SSNR最高的波段为 3~3.68  $\mu\text{m}$ ，3~3.80  $\mu\text{m}$ 。

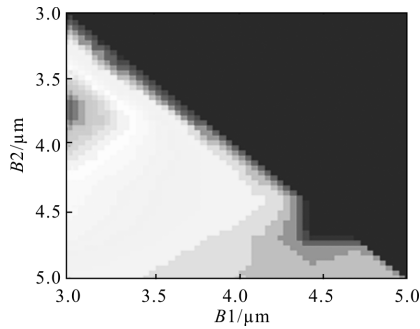


图 6 电子设备开机状态下综合信噪比平均结果  
Fig.6 SSNR mean results of electronic devices bootup

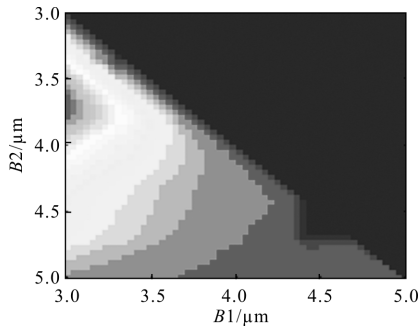
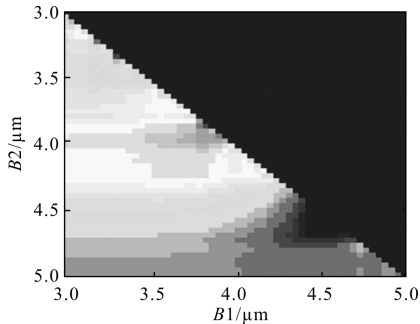


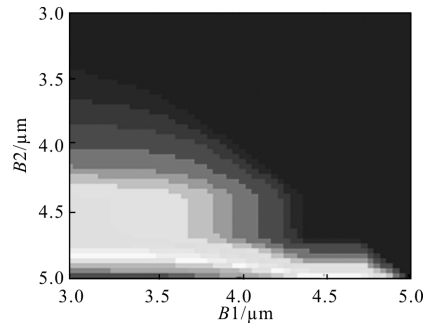
图 7 电子设备关机状态下综合信噪比平均结果  
Fig.7 SSNR mean results of electronic devices shutdown

2.2 夜间情况

在夜晚条件下，典型目标在某一飞行高度，电子设备开、关机状态下的信杂比、信噪比、综合信噪比和信噪比阈值分割的结果，如图 8、9 所示。从图中可以看出，在夜间，由于飞机辐射强度较小，SSNR 最高的波段为 3~5  $\mu\text{m}$ 。

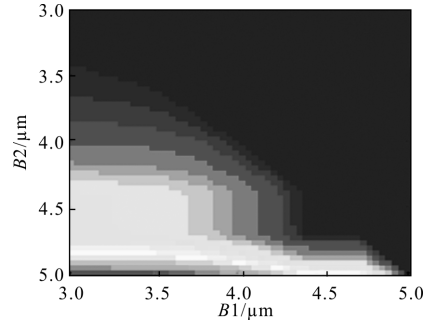


(a) 信杂比  
(a) signal-to-clutter ratio



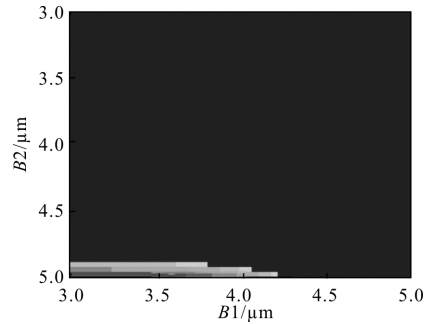
(b) 信噪比

(b) signal-to-noise ratio



(c) 综合信噪比

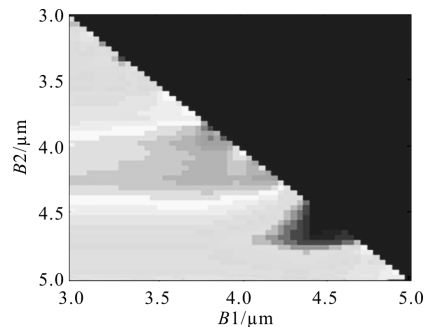
(c) Synthetic signal-to-noise ratio



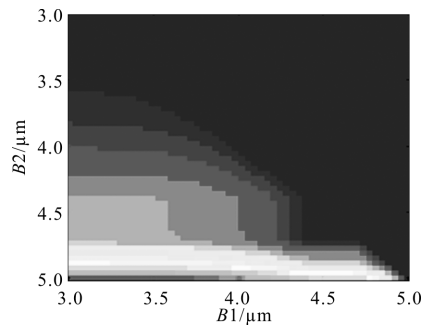
(d) 综合信噪比阈值分割的结果

(d) Threshold segmentation results of synthetic SNR

图 8 夜间某一高度下电子设备开机结果  
Fig.8 Electronic devices bootup results in a certain height at night

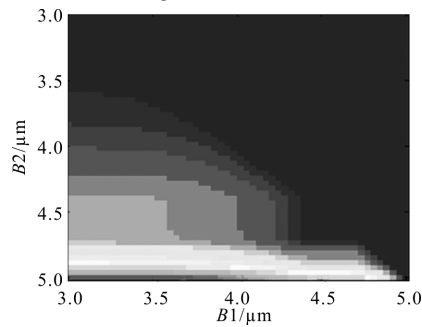


(a) 信杂比  
(a) Signal-to-clutter ratio



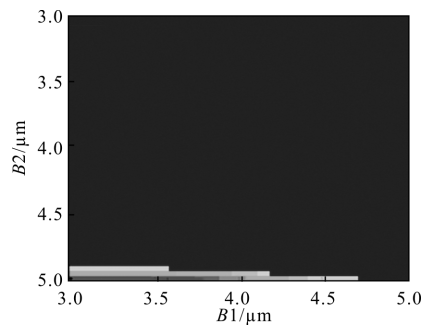
(b) 信噪比

(b) Signal-to-noise ratio



(c) 综合信噪比

(c) Synthetic signal-to-noise ratio



(d) 综合信噪比阈值分割的结果

(d) Threshold segmentation results of synthetic SNR

图9 夜间某一高度下电子设备关机结果

Fig.9 Electronic devices shutdown results

in another certain height at night

### 3 结论

针对典型目标,在白天,对于不同发射率,不同高度、是否开关机等情况而言,起始波长的区间一般会落在 $3\sim 3.3\ \mu\text{m}$ ,终止波长区间一般都会落在 $3.45\sim 4\ \mu\text{m}$ ,目标探测的综合信噪比较高。尤其是当波段为 $3\sim 3.7\ \mu\text{m}$ 时,综合信噪比相对更高,可以考虑作为优选波段。在夜间,起始波长的区间一般在

$3\sim 4.75\ \mu\text{m}$ ,终止波长的区间一般在 $4.9\sim 5\ \mu\text{m}$ ,这样目标探测的综合信噪比较高。尤其是当波段为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 时,综合信噪比相对更高,可以考虑作为优选波段。

### 参考文献:

- [1] Xu Genxing. Optical Characteristics of Target and Environment [M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 1995: 94-125. (in Chinese)  
徐根兴. 目标和环境的光学特性[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995: 94-125.
- [2] Yang Degui, Xiao Shunping. Single-band IR passive ranging based on IR radiation characteristics [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(6): 946-950. (in Chinese)  
杨德贵, 肖顺平. 基于红外辐射特性的单波段红外图像被动测距[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(6): 946-950.
- [3] Chen Jianxin, Lin Chun, He Li. InAs/GaSb type II superlattice infrared detection technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(5): 786-790. (in Chinese)  
陈建新, 林春, 何力. InAs/GaSb II类超晶格红外探测技术[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(5): 786-790.
- [4] Montgomery J B, Montgomery C T, Sanderson R B, et al. Empirical modeling and results of NIR clutter for tactical missile warning[C]//SPIE, 2009, 7300: 730008.
- [5] Lindquist G H, Kwon H, Ranagy J R. Model for atmospheric clutter as seen from a satellite platform[C]//SPIE, 1983, 430: 24-31.
- [6] Zhang Jianqi, He Guojin, Liu Delian, et al. Impact of background clutter on IR imaging system performance [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(4): 565-568. (in Chinese)  
张建奇, 何国经, 刘德连, 等. 背景杂波对红外成像系统性能的影响[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 565-568.
- [7] Lomheim T S. Performance/sizing relationships for a short-wave/mid-wave infrared scanning point source detection space sensor[C]//IEEE, 1999, 4: 113-138.
- [8] Zhang Wei, Cao Yiming, Cong Mingyu, et al. Band selection for space-based infrared target detection using background clutter model[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(2): 341-348. (in Chinese)  
张伟, 曹移明, 丛明煜, 等. 采用杂波模型进行天基目标红外探测波段的选择[J]. 光学精密工程, 2010, 18(2): 341-348.