

# 局部灰度化的空中红外目标探测方法

方义强 朱斌 樊祥 施展 程正东

(合肥电子工程学院脉冲功率激光技术国家重点实验室, 安徽 合肥 230037)

**摘要** 在红外探测系统对空中目标进行低空探测时,地面的各种景物也可能进入探测器视场内,地面景物的存在将对目标的探测产生影响。从红外成像的角度出发,主要对地面景物会降低系统探测能力的问题进行了研究,分析了这种影响形成的原因,并针对该问题,提出了通过灰度化探测器视场内特定信号区间的方法。该方法对目标和其所在背景的辐射进行估计,再根据二者辐射的范围对灰度化信号区间的长度和位置进行确定,并最终得到所需灰度化信号的范围。计算和实验结果表明,采用该方法可以充分利用探测器的分辨本领,提高在地面景物存在情况下系统的探测性能。

**关键词** 红外目标探测;地面景物;局部灰度化;探测性能

**中图分类号** O433 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.0404001

## Air Infrared Target Detecting Based on Partial Graying

Fang Yiqiang Zhu Bin Fan Xiang Shi Zhan Cheng Zhengdong

(State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronical Engineering Institute of Hefei, Hefei, Anhui 230037, China)

**Abstract** When to detect the air target at the low altitude by the infrared (IR) detecting system, the scenery on the ground can also be contained in the view of the detector, and affects detecting of the target. Based on the IR imaging, the problem of the ground scenery can weaken the detecting capability of the IR system is studied, and the reason for this problem is analyzed, the method of graying a special signal range within the view of the detector is proposed for this specific problem. According to this method, the radiation of the target and its background are evaluated, the length and the location of the signal range to be grayed are confirmed by the evaluated results, so the signal range that need to be grayed can be gotten. The calculated and experiment results show that the detecting capability can be improved by this method when encountering the ground scenery.

**Key words** infrared target detecting; ground scenery; partial graying; detecting capability

**OCIS codes** 040.3060; 110.3080; 040.2480; 110.2970

## 1 引言

对于凝视型地面红外探测系统而言,其探测的对象主要是空中来袭目标,包括各种飞机、导弹等,一般要求红外探测系统可以在中远距离上实现对这些目标的告警。这就要求系统具有足够的灵敏度,尽可能的在目标信号弱的情况下检测到目标的信号,这种情况下的目标也被称为红外弱小目标<sup>[1]</sup>。红外弱小目标具有信号弱、成像面积小的特点,再加上其所处背景的信号复杂,使得对红外小目标的检

测非常困难<sup>[2]</sup>。为了提高红外系统对小目标的探测性能,很多文献都提出了具有实际意义的方法。一方面是不断提高探测器的灵敏度<sup>[3]</sup>,提高探测系统的探测能力;另一方面更多的是通过改进信号处理手段实现对目标信号的提取<sup>[2,4]</sup>。

在系统进行低空探测时,地面的各种景物就有可能进入系统的视场内<sup>[5]</sup>,如山、树木、建筑物等,尤其是当系统应用于城市环境的情况时,即使是在系统的仰角较大时,高的建筑物仍然有可能进入系统

收稿日期: 2013-10-10; 收到修改稿日期: 2013-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(61307025,61271376)、安徽省自然科学基金(1308085QF122,1208085UF114)

作者简介: 方义强(1986—),男,博士研究生,主要从事空中红外小目标探测方面的研究。E-mail: 490982172@qq.com

导师简介: 樊祥(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事光电对抗方面的研究。E-mail: fanxiangLXL@163.com

的视场中。对地面景物的红外辐射特征,文献[6-7]进行了比较详细的分析,从分析结果可以看到,地面的一些景物,如人工建筑物,在远红外波段是强辐射体,很显然,具有强辐射特征的地面景物将不利于红外系统对目标的探测:

1) 地面景物可能对目标形成遮挡。地面景物一般为不透明物体,当目标位于地面景物后面时,其辐射将会被完全遮挡。当地面遮挡物的面积较大时,如山、高楼等,景物对目标的遮挡将会持续较长时间,而当遮挡物的面积较小时,如树木、高压电杆等,景物对目标的遮挡时间将会比较暂时;

2) 地面景物将可能对目标形成干扰,使得系统的信号处理算法不能完全剔除这些背景。目标检测算法的功能是通过红外图像检测算法,将目标从红外图像中提取出来,但是由于背景的存在,尤其是地面背景这种复杂红外背景,使得通过算法实现对目标的检测变得困难,一般的算法不能实现对目标的有效检测。如:由于地面背景为强红外辐射体,因此其在红外图像上的灰度值可能会分布在各个灰度级上,那么通过图像分割的方法来提取目标将变得困难;有些地面景物,如树木,可能会有一定幅度的运动,这样会使得图像减算法效果不理想;地面景物的边、角等突起的地方在形状上可能会和小目标相似,可能成为干扰目标,从而造成虚警;

3) 由于地面景物为强辐射体,使得系统对目标的可探测距离减小或者使得系统处理的数据量增大。中远距离的红外小目标在探测器的照度值很小,而建筑物等地面景物的辐射较大,当系统对视场内的信号进行量化形成灰度图像时,因为量化的灰度级有限,而可能将对比度小的信号量化为同一个灰度级,这对于弱小目标的检测是不利的。且实际的测试表明,当红外探测器视场中存在建筑物等强辐射体时,目标和背景的对比度将可能被降低。

在以上的三点地面景物对目标探测的影响中,其中的1)、2)两点比较明显,不少文献也提出了许多的解决方法<sup>[8-9]</sup>,这些方法主要集中在信号处理上,如针对景物对目标的遮挡,提出了通过预测的方法来解决;针对地面景物可能形成的干扰,提出了动态检测算法等方法来解决。对于3),暂时还没有文献对其进行过专门的研究,因此本文主要对该问题进行论述,并研究其解决方法。

## 2 原理分析

假设视场中的景物(包括目标、目标所处背景和

地面景物)在探测器上的最大照度为  $E_{\max}$ ,最小照度为  $E_{\min}$ ,它们在探测器上产生的信号电压分别为<sup>[10]</sup>

$$\begin{cases} V_{\max} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\max}(\lambda) \cdot A_n \cdot \mathcal{R}(\lambda) d\lambda \\ V_{\min} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\min}(\lambda) \cdot A_n \cdot \mathcal{R}(\lambda) d\lambda \end{cases}, \quad (1)$$

式中  $\mathcal{R}(\lambda)$  为探测器的光谱响应度,  $A_n$  为探测元的面积,  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  为探测器的响应波段。红外成像系统最终需要将电压值量化为灰度值,设  $g(x)$  为信号电压和灰度值的之间的映射函数,并假设系统的灰度量级数为  $N$ (应用最为广泛的为 256 级),则

$$g(V_{\max}) = N, \quad g(V_{\min}) = 0. \quad (2)$$

假设  $E_t, E_b$  分别为目标和目标所处背景在探测器上的照度,对应的电压值分别为  $V_t, V_b$ , 那么它们的灰度差为

$$\Delta g_{t-b} = g(V_t) - g(V_b). \quad (3)$$

要通过信号处理的方法实现对红外图像中目标的检测和识别,目标和背景的灰度值差  $\Delta g_{t-b}$  需要大于某一整数  $N_0$ , 即

$$g(V_t) - g(V_b) \geq N_0. \quad (4)$$

为了方便作进一步的讨论,假设信号电压值和灰度值之间的映射关系近似为线性,如图 1 所示,即

$$g(V) = kV + b. \quad (5)$$

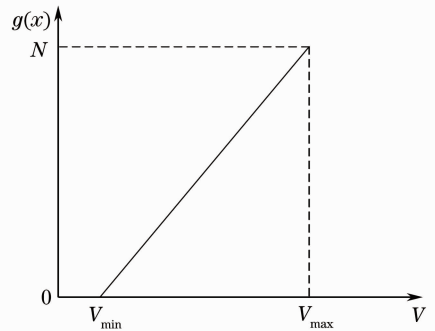


图 1 电压值和灰度值的映射关系

Fig. 1 Linear mapping of voltage and gray-scale  
那么联立前面的几个式子可以求得如下的关系式

$$V_t - V_b \geq \frac{N_0}{N} (V_{\max} - V_{\min}). \quad (6)$$

将(6)式中的电压值用照度表示,可以得到在建筑物存在的情况下,目标与背景照度差  $\Delta E_g(\lambda) = E_t(\lambda) - E_b(\lambda)$  满足:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left\{ \Delta E_g(\lambda) - \frac{N_0}{N} [E_{\max}(\lambda) - E_{\min}(\lambda)] \right\} \mathcal{R}(\lambda) d\lambda \geq 0. \quad (7)$$

以上是考虑建筑物等强辐射背景存在时,从灰度级的问题上对目标和背景照度差应满足的条件进行了探讨。如果从探测器的性能,即从目标信噪比的角度来考虑,探测器接收到的目标和背景的信噪比为

$$R_{SN} = \frac{V_s}{V_n} = \frac{A_n}{(\Delta f \cdot A_d)^{1/2}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Delta E_g(\lambda) D^*(\lambda) d\lambda, \quad (8)$$

式中  $V_s$  为目标和背景辐射在探测器上产生的电压值的差,  $V_n$  为探测器噪声电压,  $\Delta f$  为系统电路的等效噪声带宽,  $A_d$  为探测器面积,  $D^*(\lambda)$  为探测器的光谱探测度。由于系统性能的约束,系统存在最小可探测信噪比,即只有目标信噪比  $SNR$  大于一定值  $R_{SN, \min}$  时目标才能被探测到,在小目标探测问题上一般可取  $R_{SN, \min} = 5$ 。

通过以上的论述,可以假定一种情况:目标和其所在的背景的信噪比满足系统最小可探测信噪比的要求,但是在灰度级上,由于地面景物的存在,使得探测器上的最大照度为  $E_{\max}$  和最小照度为  $E_{\min}$  差别很大,而导致(6)式或者(7)式成立时  $N_0$  只能取到较小的值,而不满足系统对目标的检测和识别对灰度级的要求。即系统对视场内信号灰度化时,由于地面景物的存在,使得灰度化的信号范围增大,进而使一些低对比度的信号被丢失,最终导致系统的探测性能得不到充分的利用。一种解决的方法是增大系统的灰度量级数  $N$ ,如采用 16 位的量化方法(65535 级),这样可以达到更高的分辨率,但是会使图像的数据量增大,从而使得对系统硬件的要求提高。

为了验证以上的观点,可以采取典型的数据进行实例计算:假设视场内的某建筑物为  $40^\circ\text{C}$  的黑体,并认为其在视场内的辐射最大,不考虑建筑物辐射的大气衰减;目标位于大气背景下,目标天顶角为  $75^\circ$ ,高度为 10 km,飞行速度 0.9 Ma;大气模式为中纬度夏季模式,并认为大气在视场内的辐射最低。那么通过计算,当  $N_0$  的取值大于 2 时(7)式就不再成立,显然  $N_0$  取如此小的值很难满足系统对目标检测识别的要求。而此时通过(8)式可以求得目标和背景的信噪比为 5.654,满足一般探测对信噪比的要求。可以看到,由于建筑物的存在,使得探测器的性能没有得到充分的利用,甚至会使一些低信噪比的目标无法检测识别,此时红外系统的实际最小可分辨温差将大于探测器的最小可分辨温差。

### 3 局部灰度化方法

为了解决上面提出的问题,文章提出了局部灰度化的解决方法:只对系统视场内感兴趣的一段信号  $V_1 \sim V_2$  进行量化,如图 2 所示,即当信号电压小于  $V_1$  时,都量化为灰度级 0,当信号电压大于  $V_2$  时都量化为最大值  $N$ 。用分段函数表示为

$$g(V) = \begin{cases} 0, & V_{\min} \leq V \leq V_1 \\ kV + b, & V_1 \leq V \leq V_2 \\ N, & V_2 \leq V \leq V_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

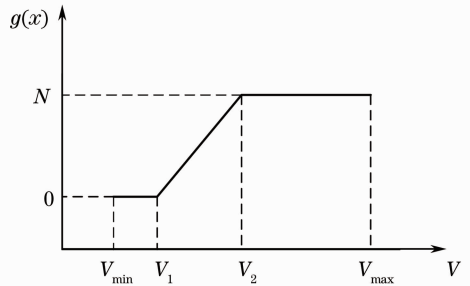


图 2 局部量化示意图

Fig. 2 Sketch map of partial graying

那么此时(6)式变为

$$V_t - V_b \geq \frac{N_0}{N} (V_2 - V_1). \quad (10)$$

因为此时  $V_2 - V_1 \leq V_{\max} - V_{\min}$ ,因此在同样的目标与背景照度差下,相比于原来的量化方法,  $N_0$  可以取得更大的值。即可以认为:在  $V_1 \sim V_2$  (或者  $E_1 \sim E_2$ ,  $E_1$ 、 $E_2$  分别为对应于  $V_1$ 、 $V_2$  时的照度值) 范围内,信号在灰度级上得到了放大。很显然,采用这种方法可以解决由于地面景物的存在而造成的系统对目标的最小可分辨率问题,但是如何选取量化的区间  $V_1 \sim V_2$  (或者  $E_1 \sim E_2$ ) 是需要进一步研究的问题。

根据(10)式可以得到,在理想的情况下,当取  $V_1$  为目标所处背景产生信号电压、 $V_2$  取目标的信号电压时,该式恒成立,此时  $N_0$  取任何数(10)式都成立。但是实际设置  $V_1$ 、 $V_2$  时,并不能精确取到目标和背景的信号电压。因为目标和背景的信号都有一定的动态变化范围,在不同情况下,目标和背景的信号都不同,在未分辨目标和背景信号的情况下,不可能准确得到二者的信号强度,而只能根据特定的环境条件和先验知识等对目标和背景的信号作尽可能准确的估计,然后根据目标和背景的信号来确定  $V_1$ 、 $V_2$  取值范围。

假设目标和背景在探测器上产生的信号电压差的范围为

$$\Delta V_g = V_t - V_b \in [\Delta V_{g1}, \Delta V_{g2}], \quad (13)$$

式中  $\Delta V_{g1}$ 、 $\Delta V_{g2}$  分别为目标和背景在探测器上产生的信号电压差  $\Delta V_g$  可能取到的最小值和最大值。因此为了尽可能的保留目标和背景的信号差,根据(10)式,量化信号电压区间  $V_1 \sim V_2$  应满足

$$V_2 - V_1 \leq \frac{N}{N_0} \Delta V_{g1}. \quad (14)$$

(14)式由目标和背景的信号差得到了量化信号电压区间的长度,但是当  $\Delta V_{g1}$  很小甚至为 0 时,则需要考虑探测器的最小可分辨率的问题,因为探测器的探测能力是有限的。由(8)式可知,系统能分辨的最小信号电压为

$$V_{Smin} = \frac{R_{SN,min}}{V_n}. \quad (15)$$

对于一个目标,只有当其和背景的信号电压差大于系统可分辨的最小信号电压时,目标才可能被探测到。同时如果想从灰度级上实现对该目标信号的识别,需要将该最小可分辨电压量化为  $N_0$  个灰度级,那么系统最小可量化的电压范围为  $\frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin}$ ,因此量化信号电压区间  $V_1 \sim V_2$  还应满足:

$$\frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin} \leq V_2 - V_1. \quad (16)$$

很显然,(14)和(16)式可能不存在交集。由于(16)式是由探测器的分辨率决定的,而(14)式是为了更好地利用探测器的分辨本领得到的,因此当二者不存在交集时,应优先考虑系统的分辨率,取  $V_2 - V_1 = \frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin}$ 。

确定了量化电压区间的长度后,再确定该电压区间的起点或终点就可以得到需要量化的电压区

间。因为红外系统的主要目的是获取目标的信号,因此量化电压的范围应主要考虑目标信号电压的范围。假设目标信号的范围为

$$V_t \in [V_{t1}, V_{t2}], \quad (17)$$

式中  $V_{t1}$ 、 $V_{t2}$  分别为目标信号可能取到的最小值和最大值。由于  $V_1 \sim V_2$  的长度和  $[V_{t1}, V_{t2}]$  的长度大小关系不确定,因此对于  $V_1$  或  $V_2$  位置的确定需要区别对待。当  $V_2 - V_1 \geq V_{t2} - V_{t1}$  时,说明量化的长度大于目标信号电压的范围,那么此时只需要满足  $[V_{t1}, V_{t2}] \subset [V_1, V_2]$  即可,如可以选取二者的中心点重合,即  $\frac{V_{t1} + V_{t2}}{2} = \frac{V_1 + V_2}{2}$ 。当  $V_2 - V_1 < V_{t2} - V_{t1}$  时,说明量化的长度小于目标信号电压的范围,这种情况下  $V_1$  或  $V_2$  位置的确定需要根据需求来决定。如果需要考虑整个目标信号范围,那么此时可以直接取量化区间为目标信号所在的区间,但是正如前面讨论的一样,当目标和背景的辐射比较接近时,二者的差别可能会探测不到,从而使系统的分辨率得不到有效的应用。另一种考虑是只对部分范围的信号进行放大,充分利用系统的分辨率,因为实现对目标的探测需要目标的信号要大于其所处背景的信号,目标信号较小的部分会和背景信号接近,而目标信号较大时会和背景信号有较大的差别,比较容易实现对目标的检测,因此应主要考虑目标信号弱的部分,取  $V_1 = V_{t1}$ ,此时将对目标信号较小的部分  $[V_{t1}, V_{t1} + V_2 - V_1]$  进行量化,而将  $[V_{t1} + V_2 - V_1, V_{t2}]$  部分全部量化为最大灰度级  $N$ 。综上所述可以得到选择量化的信号电压区间的长度和位置为

$$\left\{ \begin{array}{l} N \cdot V_{Smin} \leq V_2 - V_1 \leq \frac{N}{N_0} \Delta V_{g1}, \quad \frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin} \leq \frac{N}{N_0} \Delta V_{g1} \\ V_2 - V_1 = \frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin}, \quad \frac{N}{N_0} \cdot V_{Smin} > \frac{N}{N_0} \Delta V_{g1} \end{array} \right\} \text{the length of } V_2 - V_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{t1} + V_{t2}}{2} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad V_2 - V_1 \geq V_{t2} - V_{t1} \\ V_1 = V_{t1}, \quad V_2 - V_1 < V_{t2} - V_{t1} \end{array} \right\} \text{the location of } V_1 \text{ or } V_2$$

(18)

根据(18)式可知,确定量化电压区间,需要得到目标信号的变化范围、目标与背景信号差的变化范围等参数。实际情况中,一般更容易计算得到目标或背景在探测器上的辐射照度,因此可以将(18)式

中的电压值换算成为辐射照度值。为了便于计算和表达,假设在波段内的光谱响应率可以看成是与波长无关的量,那么可以得到用辐射照度表示的信号量化方式为

$$\left\{ \begin{array}{l} N \cdot E_{S_{\min}} \leq E_2 - E_1 \leq \frac{N}{N_0} \Delta E_{g1}, \quad \frac{N}{N_0} \cdot E_{S_{\min}} \leq \frac{N}{N_0} \Delta E_{g1} \\ E_2 - E_1 = \frac{N}{N_0} \cdot E_{S_{\min}}, \quad \frac{N}{N_0} \cdot E_{S_{\min}} > \frac{N}{N_0} \Delta E_{g1} \end{array} \right\} \text{the length of } E_2 - E_1 \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{t1} + E_{t2}}{2} = \frac{E_1 + E_2}{2}, \quad E_2 - E_1 \geq E_{t2} - E_{t1} \\ E_1 = E_{t1}, \quad E_2 - E_1 < E_{t2} - E_{t1} \end{array} \right\} \text{the location of } E_1 \text{ or } E_2$$

(19)式中的各种辐射照度量均为波段量,下标的含义和(18)式中电压下标的含义相同。

从以上提出的方法可知,要实现局部灰度量化的提高红外系统对空中小目标的探测能力,需要对目标和天空背景的辐射有一个比较准确的估计,并且要求系统能够实现局部信号的采样量化。不少文献都对目标和天空背景的辐射特征展开了深入的研究<sup>[11-12]</sup>,同时一些通用的红外热像仪都提供了热像仪温度显示范围的手动设置功能,其功能就相当于对视场内的景物进行局部量化。

#### 4 实例计算与实验

为了直观理解地面景物对目标探测的影响,进行了实际的红外成像实验。文献和实际观测都表明,在红外系统得到的红外图像中,天空中的云具有具有和小目标相当的灰度值,当目标信号很小时,云的灰度值还将大于小目标的灰度而使得目标不能被探测到。如图3所示为云背景下的一个红外小目标(目标用白色矩形框标识),可以看到小目标的灰度值和云的灰度值很接近。基于以上的认识,为了更好的对比有无建筑物存在时的情况,实验采取对云探测的方法来进行间接证明,因为云的位置相对比

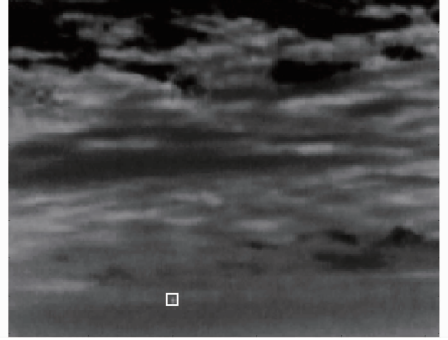


图3 云背景下的红外小目标

Fig. 3 Infrared (IR) small target under cloudbackground

较稳定,更容易进行对比实验。

图4为通过红外热像仪采集的4幅含卷云的红外图像,拍摄时间为2013年11月16日,拍摄设备为高德AFJ-M非制冷红外机芯组件,响应波段为 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 。其中(a)、(b)两幅图像为同一时间采集的图像,(c)、(d)为同一时间采集的图像。从图中可以明显的看到,当有建筑物在视场内时,卷云的红外图像轮廓变的模糊,一些细节特征消失。实验结果间接说明,当对目标进行探测时,如果目标的信号比较弱,那么目标的信号就有可能因为建筑物的存在而探测不到。

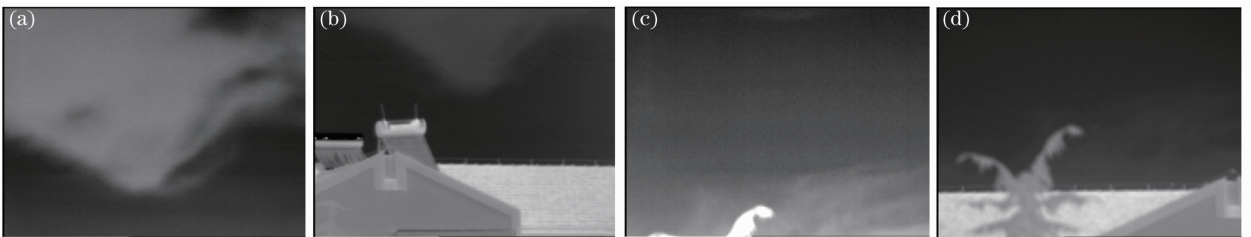


图4 卷云的红外成像实验1

Fig. 4 Imaging experiment 1 of cirrus

同样,为了进一步直观的说明局部量化电压区间的选取,下面选取典型的参数进行计算和分析。考虑晴空背景下的红外小目标检测问题,认为红外系统所探测的目标一直处于晴空背景下,同时地面景物也出现在系统视场中。因为要求系统对目标出

现即实现检测,因此可认为 $\Delta E_{g1} = 0$ ,那么按照(18)式, $E_2 - E_1 = \frac{N}{N_0} \cdot E_{S_{\min}}$ 。对于大气背景下的空中目标,其信噪比随着目标位置的不同,信噪比差异较大,最大时信噪比可达几百的数量级,当灰度量级数 $N$ 取值较小时,如取 $N = 255$ 时, $E_2 - E_1 <$

$E_{i2} - E_{i1}$ , 因此取量化辐射照度的区间起点  $E_{i1} = E_{i1}$ 。因为前面取了最小的目标和背景在探测器上的辐射照度差为 0, 因此目标信号的最小值应等于探测器视场内目标可能出现位置的背景的最小值, 对于晴空背景而言, 其辐射随天顶角的增大而增大, 因此其最小值出现在视场内目标最小的天顶角位置, 也就是探测器最大仰角的位置, 这里假设系统的最大仰角为  $30^\circ$ 。

在前期的工作中已经对天空背景下的目标和背景信号进行了分析<sup>[11]</sup>: 在  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  波段,  $30^\circ$  仰角方向的天空辐射亮度为  $L_{\text{sky}}^{30^\circ} = 21.71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Sr})$ , 其在探测器上的辐射照度应为  $L_{\text{sky}}^{30^\circ} = \frac{\pi}{4F_{\#}^2} \tau_0 E_{\text{sky}}^{30^\circ} = 15.35 \text{ W}/\text{m}^2$ , 其中  $F_{\#} = 1$  为系统的孔径参数,  $\tau_0 = 0.9$  为系统的光学透射率; 典型系统最小可分辨的辐射照度为  $0.43 \text{ W}/\text{m}^2$ ;  $40^\circ\text{C}$  的黑体墙的辐射亮度为  $65.57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Sr})$ ,  $0^\circ$  仰角方向的大气背景辐射亮度为  $46.35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Sr})$ ; 同样可以求得它们在探测器上的辐射照度为  $49.55 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $34.04 \text{ W}/\text{m}^2$ ; 另外取  $N = 255, N_0 = 5$ 。

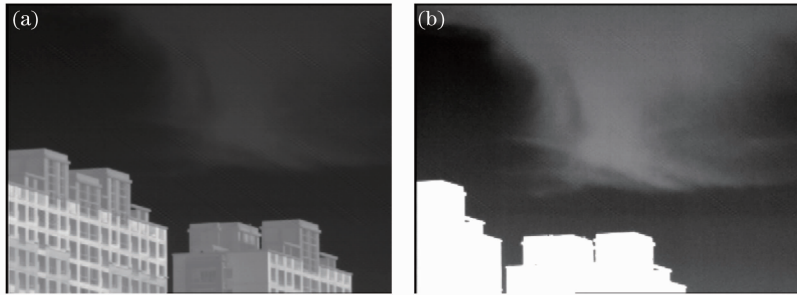


图 5 卷云的红外成像实验 2

Fig. 5 Imaging experiment 2 of cirrus

从图 5 所示的实验中还可以看到, 在 (b) 中建筑物的细节特征消失。由此可知, 当采用本文提出的局部灰度量化的方法时, 不仅会使目标信号范围内的信号得到更为精确的灰度化, 还会使一些辐射强的地面景物细节特征消失, 这对于目标的检测是更有利的。

## 5 结 论

对地面景物进入红外探测系统视场内对目标探测的影响问题进行了研究, 主要从如何充分利用系统的探测能力的角度, 分析了地面景物会降低系统探测性能的原因, 提出了局部灰度化信号的方法, 对灰度化的信号范围进行了确定。结论具有一定的实际指导作用, 在实际的红外探测系统设计时, 在对目

在这些参数下可以得到:  $E_2 - E_1 = 21.93 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $E_1 = E_{\text{sky}}^{90^\circ} = 15.35 \text{ W}/\text{m}^2$ , 则量化的辐射照度范围为  $15.35 \sim 37.28 \text{ W}/\text{m}^2$ 。可以看到, 整个大气背景都在量化的范围内, 而建筑物的辐射照度远超出了量化的范围。很明显, 采用本文的量化方法将会使目标信号范围内的信号得到更为精确的灰度化, 从而提高系统对目标的探测能力。在这里也进行了相应的实验来证明采用局部量化的方法可以提高系统的探测能力。

图 5 同样为卷云的成像实验, (a) 为系统正常显示的红外图像, 可以看到视场内的所有景物都根据其辐射的大小进行了灰度图像的显示。(b) 中的图像为建筑物进入系统视场后, 系统还未对视场内的所有景物按照辐射大小进行灰度显示, 因为系统具有一定的反应时间, 由于建筑物刚进入视场内, 此时系统仍然按照只有云存在时的量化区间进行灰度的量化, 可以看到, 与 (a) 的情况不同, 云的轮廓和细节特征都比较明显。

标和其所在背景的辐射有一个较为准确的估计下, 通过提出的局部灰度化的方法, 可以提高系统在地面景物存在情况下对空中弱小目标的探测性能。结论也说明了在一般的自动量化红外探测系统应用时, 为了提高系统对目标的探测能力, 应尽可能的避免强的辐射源进入视场, 因为这样会降低探测系的探测性能。

反过来, 从保护目标的角度来讲, 同样可以为通过强辐射源实现对目标的隐身提供指导。即可以通过在目标附近布置强辐射源, 使该辐射源同样进入探测器视场内, 那么根据结论可知, 若探测系统没有采用局部量化的方法, 那么探测器可能会因为该强辐射源的存在而无法分辨目标和目标所在的背景。

## 参 考 文 献

- 1 Jia Qinglian, Qiao Yanfeng, Deng Wenyuan. Analysis for point-target detection range of panoramic searching system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(4): 937-943.  
贾庆莲, 乔彦峰, 邓文渊. 周视搜索系统对点目标的作用距离分析[J]. *光学学报*, 2009, 29(4): 937-943.
- 2 Sunggho Kim, Joohyoung Lee. Scale invariant small target detection by optimizing signal-to-clutter ratio in heterogeneous background for infrared search and track [J]. *Pattern Recognition*, 2012, 45(1): 393-406.
- 3 Craig Mcmurtry, Donald Lee, James Beletic, *et al.*. Development of sensitive long-wave infrared detector arrays for passively cooled space missions [J]. *Optical Engineering*, 2013, 52(9): 091804.
- 4 Xin Wang, Guofang Lü, Lizhong Xu. Infrared dim target detection based on visual attention [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2012, 55(6): 513-521.
- 5 Wang Weihua, Li Zhijun, He Yan, *et al.*. A real-time target detection algorithm for infrared search and track system based on region of interest extraction [J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(11): 1109001.  
王卫华, 李志军, 何艳, 等. 一种基于兴趣区提取的红外搜索系统目标实时检测算法[J]. *中国激光*, 2012, 39(11): 1109001.
- 6 Lou Heli, Zhao Erbo, Lü Xiangyin, *et al.*. Analysis of city target and background temperature characteristics and their influence factors [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(10): 2817-2823.  
娄和利, 赵尔波, 吕相银, 等. 城市目标与背景温度特征及影响因素分析[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(10): 2817-2823.
- 7 E Hirsch, E Agassl, N S Kopelka. Comparing statistical and spatial characteristics of urban and rural infrared images, part 1: data analysis [J]. *Optical Engineering*, 2008, 47(4): 046401.
- 8 Xia Yu, Wu Xiaojun, Wang Hongyuan. An anti-occlusion method for object tracking based on adaptive particle filter [J]. *J Optoelectronics•Laser*, 2012, 23(11): 2207-2214.  
夏瑜, 吴小俊, 王洪元. 一种抗遮挡自适应粒子滤波目标跟踪方法[J]. *光电子·激光*, 2012, 23(11): 2207-2214.
- 9 Xu Xiaohang, Xiao Gang, Yun Xiao, *et al.*. Moving object tracking in complex background and occlusion conditions [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2013, 40(1): 23-30.  
许晓航, 肖刚, 云霄, 等. 复杂背景及遮挡条件下的运动目标跟踪[J]. *光电工程*, 2013, 40(1): 23-30.
- 10 Zhang Le, Liang Dongming, Yao Mei, *et al.*. Equivalent calculation of operating range ofIRST [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(1): 26-30.  
张乐, 梁冬明, 姚梅, 等. 红外搜索跟踪系统作用距离等效折算[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(1): 26-30.
- 11 Fang Yiqiang, Fan Xiang, Cheng Zhengdong, *et al.*. Research on the operating range of ground-based IR alarm system in clear sky [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(7): 1654-1659.  
方义强, 樊祥, 程正东, 等. 晴空背景下地基红外告警系统作用距离研究[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(7): 1654-1659.
- 12 Guibin Yuan, Zhigang Fan, Xiaogang Sun. Radiation signature of clouds [C]. *SPIE*, 2010, 7544: 754474.

栏目编辑：李志兰