

# 地雷场红外图像处理方法

杨 旭

(解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏南京, 210007)

**摘 要** 文章在分析了地雷场红外图像实际特征的基础上, 介绍了对地雷场红外图像处理的主要方法及使用原则, 并阐述了对图像处理效果进行评估时应当注意的问题。

**关键词** 红外成像 探测 地雷场 图像处理

## 1 引言

目前, 探雷技术已从简单的手工探测发展到各种电子探测技术, 其中包括电磁技术、红外成像技术、穿地或探测雷达技术等, 而红外成像技术由于具有波长较短、显示分辨率高等优点, 已成为远距离雷场探测的主要手段, 应用前景广阔。

红外成像探雷主要采用被动红外技术, 以被探测地雷与土壤背景热惯量不同而造成的温差为机理, 由红外图像处理的方式来显示探测结果, 从而达到探雷的目的。

## 2 原始图像中的实际特征

雷场红外图像的空间特征和灰度特征分析是雷场图像处理的基础, 而原始图像中往往存在一些实际特征, 这些特征并非都具有共性, 但在实际应用中必须加以解决和处理, 并给予足够的重视。

(1) 由飞行载体振动引起的图像畸变, 这种畸变若发生在图像中, 则会破坏地雷场空间几何关系, 若正好发生在地雷上, 则会扭曲地雷的几何形状。

(2) 扫描线干扰, 体现在图像中则为整个画面出现周期性横隐线。

(3) 雷场空间位置纵横比例失真, 产生原因是速高比失调, 对其校正需要相应的飞行速度和高度数据。

(4) 灰度基准电平倾斜和变化, 引起图像画面亮暗不均。这种亮暗不均常表现在左、右或上、下不均。

(5) 飞行器俯仰、侧滚、偏航引起的图像空间几何失真, 对其校正也需有相应的数据为依据。

(6) 地面背景不均匀, 这种不均匀有两种情况, 一种是大区域的亮暗交错, 另一种是由于地面凹凸、草丛、杂物等引起。当这些背景中的斑点大小尺寸及灰度分布与地雷相似时, 区分它们的难度就会增大。

在对以上实际特征进行分析后, 图像处理所要解决的问题就变得明确了, 处理方法的产生和应用就有了依据。

## 3 图像处理方法

任选一种常用算法来处理图像并不能取得恰当效果, 反而会引起有用信息的丢失和更严重的降质。为了取得一幅较理想的处理图像, 往往需经过校正、增强和分割等多种方法的组合。这些方法的选择和设计依赖于对特征的先

收稿日期: 2004-11-07

作者简介: 杨旭(1977—), 男, 河北廊坊人, 助教, 硕士研究生。研究方向: 地雷系统设计理论及应用。

验知识和每一幅图像的具体情况。因此,在对地雷场这一特定领域图像进行处理时无法广泛进行算法试验,也不能一成不变地把几种方法组合起来,而是利用几种确定算法来实现“参量可调”的方法。

雷场红外图像处理有其特殊规律,一般从原始图像到结果图像的处理步骤为:原始图像——校正——噪声滤除——增强——排列特征法——结果图像。这种组合处理中的每个环节又都针对了地雷、雷场、背景、实际降质过程等特征而设计和选用,因而有较强的针对性。

### 3.1 校正

(1) 扫描线滤除:扫描线干扰表现为整个画面上有周期性横隐线,并伴有屏幕闪烁。处理方法为当前的像值由上、下两行对应像值相加求平均得到,隐线和闪烁即可消除。

(2) 振动畸变校正:飞行器发动机的振动会引起图像锯齿畸变。校正方法基于如下考虑:①图像的灰度函数是连续的;②像素是相关的,相邻像素的灰值相关性最大。发生振动畸变后,这种相关性被破坏,因此通过计算行与行之间像值的相互关系,确定出畸变引起的横向平移,达到消除锯齿畸变的目的。

### 3.2 增强

由于地雷与土壤背景均为常温无源物体,在图像中与背景的灰差小,另一方面从传感器到屏幕间的多个环节引起的降质也是增强技术需解决的问题。每一种增强方法都是为了突出所关心的地雷场信息,随之也损失一部分其他信息。增强技术的应用并未增加信息量,但却可以提供主观上更满意的图像或把图像转变为更适合于人机分析的形式。

#### 3.2.1 噪声消除

(1) “出限”法:由传感器噪声或信道传输误差引起的图像噪声,通常表现为孤立像素的离散性变化,不是空间相关的,有误差的像素常与它们的相邻像素有显著不同。这种现象是许多噪声消除算法的基础。一种简单的“出限”

噪声消除法,即顺序地检查每个像素,如果某个像素的灰值大于其近邻像素的平均灰值,并超过某一门限值时,则可使用平均值代替这一像素灰值。

(2) 平滑:因为噪声具有空间不相关性,因此简单的低通滤波对平滑噪声是有效的,但也会使图像模糊,因而使用时须慎重。

(3) 中值滤波:中值滤波法对抑制雷场图像中的噪声有用,例如:对于 $3 \times 3$ 的窗口,9~16像素的地雷斑点被保留,而小于9个像素的噪声被滤除。处理后的图像往往干净整洁。尺寸特征的利用,中值法是个好例子。使用中窗口的大小要认真考虑,以免使地雷的图像斑点被抑制。

#### 3.2.2 灰度变换

地雷场图像的灰度变换是一种简单而又有效的增强运算,目的在于以统一的方法改变整个图像的灰度或者改变图像中某些区域的灰度,以便增加对比度,从而使图像细节清楚。一个重要的特例是直方图的变形,用灰度变换来产生具有某种特定灰度分布的图像,如“均衡”法。

(1) 灰度拉伸:在原始图像中,地雷与背景的灰差较小。由于人眼可分辨的灰度只有十几级,假设系统中计算机对像素存深8bit,则灰度级为256,由此可经过灰度拉伸,把人眼无法分辨的小灰差甚至每一级差别以明显对比的方式显示出来,使原始图像中模糊的或不能发现的差别成为明显可见的。如果图像未占满全部容许的灰度级范围 $[0,255]$ ,而只占据了其中的子区间 $[a,b]$ ,则增加图像的对比度是容易的,即使对于一些只有小部分不在 $[a,b]$ 子区间(当然地雷的灰级范围不在“小部分”中),使用简单的线性灰度变换将 $[a,b]$ 的比例拉长和移动使之充满 $[0,255]$ ,就能取得较好的视觉效果。灰度变换可以是平滑的也可以是分段的;可以是线性变换,也能够实行任何所需的数学变换(二次的,对数的等)。如对于夜晚获取的雷场图像,由于地雷呈冷特征,在图像中灰度分布在低区,对

数拉伸具有针对性,变换后的灰度分布区中,原低灰度区被拉长,高灰度区被压缩,地雷与背景的对比度增加,而高灰度区背景信息被压缩,图像显得干净。

(2) 均衡:当变换原始图像的直方图使所有的灰度级同样频繁地出现时,就得到较高的对比度。这是因为展平直方图时,迫使在灰度密集区上的点占据多数的灰度级,以致伸展了这些灰度区。同时,在稀疏区域上的点被迫占据较少的灰度级数,从而压缩了这些区域。由于已伸展区域的点比已压缩区域的更稠密,所以,它的影响是对比度增强。

### (3) 边缘提取

边缘提取对灰值突变部位的信号有明显的增强作用。地雷与背景交界处正好具有这种突变特征,但同样也引起噪声(传感器、信道、背景)的增强,因此边缘提取前的噪声消除是必须的。背景中大区域的不均匀性往往表现为渐变,因而边缘提取对这种不均匀性有抑制作用。

## 3.3 幅度分割

从视觉效果上分析,幅度分割是图像增强的特例。它是图像向图形的转变过程。它以“二值”的反差体现目标与背景的关系,即处理后的地雷是白背景中黑点或黑背景中的白点。它的另一意义在于计算机对图形的识别和处理比之图像的相应操作要容易得多。

### (1) 输入门限法

门限的选择是处理效果的关键。在人、机组成的闭环反馈系统中,门限值进行着多次调整。大脑的参与使这种“调整”带着明显的主观性,最终结果是处理后的图像向人脑中认为的结果逼近。但主观并非等于随意,主观印象来自这样几个客观事实:①雷场的空间几何特征决定了某些斑点是雷或不是雷的属性;②地雷空间尺寸的特征决定了在9至16个像素范围之外的像素斑点可以剔除;③雷场中一定面积区域中雷的个数,应该有个限定范围,不会太多,也不会太少。

### (2) 自动门限设置

门限自动设置中的尝试,是结合图像的灰度直方图进行的。理论上分析如地雷与背景占据着不同灰区,应在灰度直方图中出现“两峰夹一谷”的现象。但实际处理中这一“谷”并不都存在。

### (3) 像点检测门限法

对于一幅包含地雷场的图像,期望能找到一种灰度门限把地雷与背景区分开来。如前面提出的输入门限,如果地雷是黑背景上的白色物体或者相反,那么设置一个中等灰度门限来确定地雷的位置是很平常的任务。但当所观测的图像有噪声以及地雷和背景都有较宽的灰度范围时便会出现一些问题。另一种常见的障碍是背景可能不均匀,这是实际处理中常遇到的。解决这两种问题的方法基于地雷是相对小的区域(9至16个像素组成),它的幅度明显不同于它周围的邻区。这里应用罗森费尔德等提出的一种像点检测算法,其规则是选用 $W \times W$ (这里选 $3 \times 3$ )低通滤波器掩模使图像平滑,然后将这种平滑图像中每点的值与它的四邻平均值(即与它相隔 $W$ 像素的上、下、左、右四邻像素的平均值)加以比较,如果差值足够大,便检出一像点,其中增强掩模是下一形式的复合掩模:

$$H(j, k) = H_s(j, k) \times H_L(j, k)$$

式中, $H_s(j, k)$ 为低通滤波器平滑掩模, $H_L(j, k)$ 为拉普拉斯掩模。

## 3.4 排列特征法

在原始图像中尺寸大小、灰度分布与雷相似或相同的斑点在无雷的背景中也时有发生。另外地雷斑点的尺寸和灰度分布也有离散性。因此,前面所有的处理办法并不能排除这种干扰斑点,相反同样的增强效果也出现在这些斑点上,因而引起相当高的“虚警”。而雷场中,地雷斑点的排列特征具有规律性和唯一性,干扰斑点在局部小区域或许会有这种排列巧合,在整个雷场或相对大的区域,这种巧合是不可能

的，因此，按教范布设的地雷其地雷空间位置关系是最具利用价值的特征。对为数不多的排列形式，通过计算机逐一尝试是快速可行的。在获得飞行高度和探测器空间分辨率数据后，从一个假设是雷的斑点开始上、下、左、右搜寻，如果假设的斑点不成立，所有排列方式的搜寻都将失败，则相同的步骤从另一个斑点开始；如果假设的斑点成立，则与某种排列方法吻合，而所有不在排列中的斑点被剔除。

但是，对于抛撒布雷形成的无规律的表面雷场，采用特征排列法进行图像处理则会有很大麻烦，此时只能通过提高探测传感器分辨率的途径来解决。

在对雷场图像进行处理的过程中，面对一次探测任务所取得的大量原始图像，从头到尾的处理作法是不可取的，一是工作量大，二是严重影响实时性。因此，首先根据地形特点限定区域(如军用车辆不能通行的地区被立即排除)，其次从限定区域中发现可疑地点作为突破口进行处理，最后根据处理结果做出判断。

#### 4 效果评估

定性或定量地评估一幅处理后的图像效果是很难的。从目前的标准来看，应当注意以下问题。

##### 1. “雷场发现概率”及“雷场虚警率”

在进攻作战行动中，首先应该将力量集中在发现雷场上。对于远距离雷场探测系统，“雷

场发现概率”及“雷场虚警率”应是其重要指标，因此有较充分的理由把它们作为图像处理效果的评估标准。

##### 2. “地雷发现概率”及“虚警率”

只有发现了相当数量的地雷，才能做出发现雷场的判决。发现的地雷越多，可信度就越高。另外雷场中地雷的数量及边界，也是重要的参数。因此把“地雷发现概率”及“虚警率”作为处理效果的评估标准是合理的。

#### 5 结束语

用被动红外成像探雷技术实现远距离雷场探测已成为各个军事强国加紧研制的项目，而对雷场的红外图像处理方法的研究是其关键技术之一。我国开展地雷场红外图像处理方法的研究具有重要的军事意义，应当大力发展。

#### 参考文献

- [1] Wilhelmus A. C. M. Messelink, Klamer Schutte, Albert M. Vossepoel. Feature-based detection of land mines in infrared images. Proc. SPIE, Vol.4727, pp.108-119, 2002.
- [2] Kevin Russel, John Mcfee, Wayne Sirovyak. Remote performance prediction for infrared imaging of buried mines. Proc. SPIE, Vol.3079, pp.761-169, 1997.
- [3] 鹿红星. 红外成像技术在地雷探测中的应用. [J]. 红外, 2004, 7: 7-11.
- [4] 倪宏伟, 房旭民 等. 地雷探测技术. 国防工业出版社. [M]. 2003.

### 简 讯

#### 新颖的量子线红外光电探测器

据英国《Infrared Physics & Technology》杂志报道，美国内华达大学电学与计算机工程系的研究人员研制出了若干种可在长波和甚长波区域工作的新颖半

导体量子线红外光电探测器。这些红外光电探测器基于半导体量子线中的子带间跃迁，它们是用一种非平版印刷纳米结构制备技术制备的。研究人员已发现这些量子线红外探测器具有提高工作温度、增加信 / 噪比、降低暗电流、扩大光谱范围以及提高对法向入射辐射的灵敏度的潜力，预计它们在焦平面列阵成像器方面将具有重要的应用。

□ 高国龙