

亚毫米波成像制导关键技术分析

吴航 张艳杰 钟其水

(电子科技大学航空航天学院 成都 611731)

摘要 亚毫米波成像制导技术正处于研究起步阶段,因其独特的优点,在军事民用中有着巨大的开发前景。对目标检测技术进行了介绍,给出目标的辐射传递方程及亚毫米波辐射计的探测距离,介绍了对图像的预处理技术,包括图像滤波和目标分割。最后指出了成像制导技术未来的发展方向和重点。

关键词 亚毫米波,目标检测,辐射方程,探测距离,图像滤波,目标分割

中图分类号 TJ765.3 **文献标识码** A

Study on the Key Technology of Sub-millimeter Imaging Guidance

WU Hang ZHANG Yan-jie ZHONG Qi-shui

(School of Aeronautics and Astronautics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract The research on imaging guidance in the sub-millimeter are being explored, because of its unique advantages, It has a great development prospect in both military and civil. In this paper, Target detection and recognition technology have been introduced. The Object's radiometric equation and the detection distance of sub-millimeter wave radiometer have been given. We have introduced the technologies of image pretreatment. The image pretreatment includes image filtering and target segmentation. At last, we have pointed out the direction of the future development of imaging guidance technology.

Keywords Sub-millimeter, Target detection and recognition technology, Equation of the radiation, Distance of the detection, Image filtering, Target segmentation

亚毫米波^[1,2]是指介于毫米波和红外之间的,波长在1~0.1mm范围内,频率是300GHz~3THz的电磁波。由于亚毫米波的频率范围在太赫兹的区间之内,因此也把亚毫米波称为太赫兹波或者远红外。亚毫米波频段范围很宽,波长短且信息容量大。亚毫米波既拥有微波和红外的优点,又克服了它们的一些缺点。相比之下其具有更高的角分辨率;更大的多普勒频移;由于它的带宽较大,因此距离分辨率更高;对于给定的天线孔径,有更大的增益和较窄的波束以及很好的抗干扰性。亚毫米波技术还能解决红外制导中的3个问题^[2]:得不到距离信息;烟雾条件下探测性能降低;目标自动识别很难实现。这些成为亚毫米波的成像制导技术的基础。

20世纪40年代,美国就最先进行了亚毫米波探测技术的研究,由于受探测和发射器件的限制,研究的进展很缓慢。到了80年代,国外有了亚毫米波探测的实际应用。接收器件是系统的主要部件,高温超导探测器^[3,4]的出现为亚毫米波成像技术的发展提供了基础,然而高温超导探测器还处于发展的初期,其他一些成像的核心器件也尚待发展和成熟。当前对亚毫米波成像的研究成果还相对较少,测试的设备也比较匮乏,所以应该借鉴其他波段成像的成熟技术和成功经验,来研究亚毫米波成像制导技术。

1 目标检测技术

目标检测也叫目标提取,是一种基于目标几何和统计特

征的图像分割,它将目标的分割和识别合二为一,其准确性和实时性是整个系统的一项重要能力。尤其是在复杂场景中,需要对多个目标进行实时处理时,目标自动提取和识别就显得特别重要。它的工作是从背景和噪声之中找出目标物体。在成像制导中,目标的距离一般来说都比较远,所以目标就相对来说非常小。所以我们所探测的物体大多数都在系统所能探测到的极限距离上,再由于传递过程中的衰减,目标的信号与噪声相比较来说是很弱小的,和探测系统的灵敏度差不多。弱小物体检测的关键问题在于分析目标、周围背景以及噪声的分布特点,在此基础上选择最好的探测方法,将探测系统的性能发挥到最佳。

然而探测器的噪声有什么特点和性质呢?通过查找文献知道亚毫米波的图像的噪声在时间和空间上都近似为高斯白噪声。因为目标物体和周围环境的变化情况多种多样,复杂背景的空间统计特性是非均匀的,常常会出现像素点的灰度突变的情况。当前对目标物体和周围环境的图像性质的研究探索都不是很成熟。在成像领域中,针对弱小物体的运动检测技术有先检测后跟踪^[5](DBT)和先跟踪后检测(TBD)两种方法。先检测后跟踪(DBT)方法的发展已经有很长的时间,在DBT技术中,检测与跟踪是两个相互独立的过程。先检测后跟踪的计算简单,然而因为使用的是单帧检测门限,导致图像中的有效信息大量流失,所以在图像信噪比较低时

吴航(1990—),男,硕士,主要研究方向为导航制导与控制;张艳杰(1988—),男,硕士,主要研究方向为新能源汽车电驱动控制系统;钟其水(1975—),男,博士,副教授,主要研究方向为非线性系统稳定性分析、控制及应用。

候这一技术效果不好。

先跟踪后检测方法^[6] (TBD)是这几年发展的目标探测手段。TBD技术适用于在信噪比很低的情况下检测复杂背景中的弱小目标,它可以充分地利用处理中所有过程的信息,提升对弱小物体的探测能力,即使在比较复杂的环境下依然能很好地实现对目标的探测和跟踪。和先检测后跟踪技术相较而言,先跟踪后检测技术无需先判断图像中是否有目标物体,而是先对多帧图像中那些可能的轨迹同时进行跟踪,根据一定的判断依据对运动的轨迹作一个软判断,一步步剔除由噪声组成的假的运动轨迹,从而保留物体真正的运动轨迹。当软判断超过了事先所设置的某一限制时,就对该运动轨迹作硬判断来区分是否为目标的轨迹,这就防止了因为目标信号太过弱小、噪声太强而导致的漏检,从而提升了探测的准确性。

亚毫米波目标探测的工作模式分为主动亚毫米波探测和被动亚毫米波探测。主动亚毫米波探测又称为亚毫米波雷达探测,是系统自身发射亚毫米波,然后接收从目标反射回来的电磁波,主动亚毫米波探测器的探测距离较远,可以到达一公里甚至几公里远,但在在导引头末制导中,目标物体的雷达返回的波有闪烁使得指向摆动,偏离了目标准确的位置。这样检测的精确度就大大减小了,情况最坏时可能丢失探测的物体,而且系统的硬件复杂。被动亚毫米波辐射计探测由于本身不向外发射信号波,就不会产生角闪烁的问题,因此探测的精确度相当高,被动成像不发射电磁波,因而没有电磁污染,比主动式的安全性更好,抗干扰能力较好。此外,根据分析,各种隐身材料对雷达的隐身性能越好,越容易被被动探测系统发现。但由于靠单纯接收目标辐射,能够探测到的距离比较短,一般来说都在一公里的距离范围之间。所以在实际的应用中,通常把两种方式复合,称其为主/被动亚毫米波复合探测方式。应用这种方式,可以截长补短,充分发挥雷达导引头和辐射计导引头两者的优势,使得实际应用的性能显著提升。

2 辐射传递方程和辐射计的探测距离

本节将讨论探测对象目标视在温度的辐射传递方程,分析亚毫米波辐射在大气中的传输衰减特性,给出亚毫米波辐射计对于目标的检测距离。

目标视在温度的亚毫米波辐射传递方程^[7]为:

$$\frac{dT_{AP}(r)}{dr} + k_e T_{AP}(r) = k_e(r) J_1(r) \quad (1)$$

分别考察其齐次解和非齐次解,目标亚毫米波辐射传递方程的通解为:

$$\begin{aligned} T_{AP}(r) &= \{k_e \int (r) J_1(r) e^{k_e \int (r) dr} dr + C_1\} e^{-k_e \int (r) dr} \\ &= C_2 e^{-k_e \int (r) dr} + e^{-k_e \int (r) dr} \cdot k_e \int (r) J_1(r) e^{k_e \int (r) dr} dr \end{aligned} \quad (2)$$

由于辐射传递方程中 $k_e(r)$ 表示单位长度的衰减,则 $k_e(r) dr$ 表示辐射传递微分距离 dr 中的衰减大小,把它记为 $d\tau$ ($\tau = k_e(r) dr$),则把 $d\tau$ 叫做光学厚度增量。将定义的光学厚度增量的概念代入式(1)中可以得到:

$$dT_{AP}(r)/d\tau + T_{AP}(r) = J_1(r) \quad (3)$$

此为目标介质的辐射传递。

一般来说,衰减系数 $k_e(r)$ 由吸收系数 $k_a(r)$ 和散射系数 $k_s(r)$ 两部分组成。然而当天气晴朗时,亚毫米波在大气中的传播散射的能量损失很少,可以忽略不计,所以可以将传递过程看成无散射。在这种情况下,即 $k_s(r) = 0$,得到辐射传递方程的通解为:

$$\begin{aligned} T_{AP}(h) &= T_{AP}(0) \exp\{-k_e \int_0^h (r) dr\} + k_a \int_0^h (r) T(r) \exp \\ &\quad \{-k_e \int_r^h (r) dr\} dr \end{aligned} \quad (4)$$

因而在天气晴朗的时候,亚毫米波辐射计测得的检测目标的视在温度由式(4)得到。上式中右边首项表示被检测物体的视在温度在传播过程中被大气所吸收的衰减,视在温度的初始值为 $T_{AP}(0)$,经过 h 长的传播视在温度衰减为初始值 $\exp\{-k_e \int_0^h (r) dr\}$;第二项则是由于辐射计自身的热辐射衰减的能量。

在对亚毫米波的能量研究中,一般情况下都是选取被动探测的模式,如使用高温超导辐射计来探测。接下来在毫米波辐射计的探测距离的方程基础上,结合 LambertW 函数^[9],推演得到亚毫米波辐射计的探测距离方程。目标的辐射的能量需要在大气中传递一定的距离,再由辐射计的天线接收。由于在毫米波的频率段上,它在大气中的传输过程中衰减很小,几乎可以忽略不计,因此在毫米波辐射计探测距离的计算过程中忽略传递衰减并不影响结果。由此得到毫米波辐射计的探测距离^[8]如式(5):

$$R_0 = \left(\frac{\eta A_T T_T}{\Omega_A \Delta T_{min} \sqrt{\frac{S}{N}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

但是,当频率升高到亚毫米波段时,在大气中的传递过程中能量的衰减就急剧增加,已经不能忽略了。经过修正之后得到式(6):

$$R = \left(\frac{\eta A_T (10^{\frac{\alpha}{10}})^R \Delta T_T}{\Omega_A \Delta T_{min} \sqrt{S/N}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

利用 Lambertw 函数,其解表示为

$$R = -20 \text{lambertW} \cdot \left(-\frac{a \ln 10}{20} \sqrt{\frac{\eta A_T T_T}{\Omega_A \Delta T_{min} \sqrt{S/N}}} \right) / (a \ln 10) \quad (7)$$

3 图像预处理

预处理是目标识别系统中的重要环节,对图像中的信息有选择地加强和抑制,以改善图像的视觉效果,或将图像转变为更适合于机器处理的形式,以便于数据抽取或识别,从而提高后续的图像处理过程的稳定性和准确性。对于亚毫米波成像系统,图像的预处理技术主要是图像的滤波和目标的分割两个部分。图像滤波即在尽量保留图像细节特征的前提下对目标图像的噪声进行抑制,是图像预处理中不可缺少的操作,其处理效果的好坏将直接影响到后续图像处理和析的有效性和可靠性;目标分割的目的是消除背景的影响,将目标物体和背景分割开,使得后续的特征提取更加准确。

在图像处理系统中,图像预处理、目标的特征提取以及分类识别是紧密相连、一环扣一环的。图像预处理中的滤波和分割是特征提取的前提,而特征提取又是分类识别的基础,所以图像预处理是目标检测的关键问题。亚毫米波图像具有噪

声大、边缘模糊的特点,因此如何在强噪声信号下得到清晰可用的图像并保持边缘特征是亚毫米波制导的关键点之一。

3.1 图像滤波

成像系统接收到的探测目标的图像都会包含许多的噪声,这些噪声的来源可能是成像系统本身,也可能来自于外界环境的因素,其中以高斯白噪声为主。同时,目标图像还存在着边缘模糊的问题。图像的滤波就是要去除噪声的同时保持图像的边缘,而这二者在滤波中往往存在着矛盾。滤波的效果直接影响着之后的特征提取的准确性和稳定性。

早期主要使用线性滤波器来滤除高斯白噪声,多应用邻域平均法滤波器,或者是高斯平滑滤波器。它们的主要思想都是以某个像素点邻域内的所有点的加权平均值来代替当前像素点的灰度值。邻域平均滤波^[10,11]中设 $f(x,y)$ 为待处理的图像, $g(x,y)$ 是处理后的图像,邻域平均平滑处理的数学表达式为:

$$g(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \quad (8)$$

式中, $x,y=0,1,\dots,N-1$; S 是 (x,y) 点邻域中的点集合,不包括 (x,y) 点, M 是集合内坐标点总数。图像平滑效果与邻域大小有关。邻域越大平滑效果越好,虽然平滑了噪声,但同时也模糊了图像的边缘。

中值滤波器^[10,11]是非线性的图像滤波方法,基于排序理论的空域滤波方法,对一个滑动窗口里的像素灰度进行排序,用中值代替中心点 (x,y) 的灰度,当窗口遍历了所有的像素点,即处理完毕。其数学表达式为:

$$g(x,y) = \text{median}\{f(m,n)\}, (m,n) \in S \quad (9)$$

中值滤波器对高斯脉冲噪声和椒盐噪声的抑制效果好,同时能保持边缘,但是对高斯白噪声的滤波效果不好。

其后 Cabill 提出了自适应尺度高斯滤波方法,在一定程度上保持了图像边缘,但由于滤波器的各向同性,破坏了边缘的方向性。

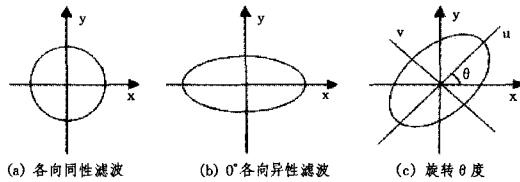


图1 两种高斯滤波器在 xy 坐标下的投影

各向异性分段高斯滤波器^[12-14]可以在很好地滤除高斯噪声的同时很好地保持边缘。各向同性高斯滤波,在 x,y 平面上的投影为一个圆心在原点的圆(如图 1(a)所示),高斯滤波算子的表达式为:

$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right)\right\} \quad (10)$$

在 x 和 y 方向上选取不同的尺度,就得到了各向异性的高斯滤波器,在 x,y 平面上的投影为一个椭圆(如图 1(b)所示),其表达式为:

$$G_0(x,y,\sigma_x,\sigma_y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right\} \quad (11)$$

将椭圆沿其轴线旋转角度 θ (如图 1(c)所示)得到滤波算子表达式为:

$$G_\theta(x,y,\sigma_x,\sigma_y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{(x\cos\theta+y\sin\theta)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(-x\sin\theta+y\cos\theta)^2}{\sigma_y^2}\right)\right\} \quad (12)$$

坐标变换:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (13)$$

分段滤波就是对 $v>0$ 和 $v<0$ 的范围逐个开始滤波,那么在单独的像素点上面就可以获取两个滤波的结果,按一定的规则选取就可以得到最后的结果。在图像中不同的区域,应当依照其局部特征的变化,不断地改变滤波器的参数。在不同的区域应使用不同尺度的滤波器。还要不断调整滤波器的方向^[14]。

为了更好地得到预期的效果,可以先用中值滤波器滤去椒盐噪声,再使用各向异性分段高斯滤波器^[13]。各向异性分段高斯滤波在图像边缘保持方面大大优于传统的高斯滤波器,但是并没有从本质上使有效邻域更充分参与滤波的问题,而且计算量也非常大。

应用分段矩滤波^[14,15],针对图像边缘的不同情形,首先通过不同矩模型得到图像边缘的位置,然后根据图像边缘的具体位置将其邻域分成有效的区域和无效的区域两个部分。最后在两个邻域内分别进行滤波,得到各自区域内的滤波结果。而对不包含边缘的区域内,没有有效邻域,即可以直接对这个区域实行滤波。对于包含边缘的区域和不包含边缘的区域应用两种不同的滤波方法,由此可获得比较好的滤波结果。

要很好地保留图像的边缘,就需对不同形状的图像边缘进行分类。边缘是图像中最为基本的特点,一般情况下将图像的边缘定义为一幅图像中像素灰度有剧烈变化的那些像素点的集合。图像边缘的灰度值变化情况随着目标物体自身的形状的不同而各不相同。在边缘的变化模式中有几种典型的形态,我们主要将各种边缘近似看成这几种模式之一来进行分析研究,比较典型的边缘模式有单阶梯型、斜坡型和山型以及屋顶型,如图 2 所示。其中单阶梯型和山型是理想的边缘模型。而斜坡型和屋顶型是由于在传递过程中边缘退化或者是分辨率所造成的,所以斜坡型和屋顶型可以近似为单阶梯型及双阶梯型。

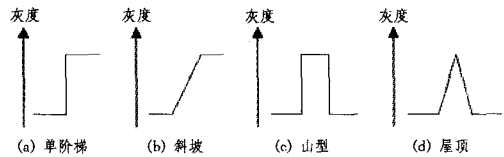


图2 图像边缘模型

准确地获得图像边缘的研究叫做亚像素边缘检测^[16]。亚像素边缘检测的方法有很多种,常见的方法有:边缘插值法、矩方法、平滑导数法和曲面拟合法等。在这些方法中矩方法的特点是用积分来进行计算,因此其对噪声不敏感,对图像边缘的提取效果比较理想,所以受到普遍的应用。矩方法也可分为两类,一个是 Tabatabai 和 Mitchel 所提出的灰度矩方法,一个是 Lyvers 和 Mitchell 基于灰度矩法提出的空间矩方法,也叫位置距方法。其中灰度矩方法需要解超越方程,所以运算量极大,不方便求解。然而空间矩法是在灰度矩的基础上提出的,很好地解决了这一问题,计算较为简单,并且定位准确,数据的加性和乘性等原因对计算结果的影响小。此外由于本篇文章应用的是分段滤波,空间矩法可以把亚像素边

边缘检测的过程同分段滤波结合在一起进行,这样就大大地降低了整个运算的复杂程度。这一优点是空间矩法所特有的。

要运用分段滤波分别对非边缘邻域和边缘邻域(边缘邻域中还包括不同的边缘类型)进行滤波,首先就需要判断邻域属于什么类型。如果是不包含任何边缘的非边缘邻域就可以直接在区域里滤波。如果是边缘邻域就要继续判断边缘类型是属于或者是近似于单阶梯型还是山型,再根据对应的方法进行滤波。所以要拟定不同类型的判断规则进行分类的处理。通常,边缘处的像素点灰度跃变程度会远高于噪声对图像的影响,所以如果某处的跃变程度比噪声的影响小,则该处就不是边缘。所以跃变程度和噪声影响的大小就是判断图像边缘的标准,然后再根据边缘的类型是单阶梯、山型还是非边缘邻域进行滤波,从而得到分段滤波结果。

3.2 图像分割

图像分割是一个经典难题,到目前为止不存在一个通用的方法,图像分割不但能检验前期图像处理的好坏,还决定了后期的目标特征提取的准确性。所谓图像分割^[17]是指将图像分割为一些互不重叠的子区域,将一幅图像 $g(x, y)$ (其中 $0 \leq x \leq \text{Max}(x), 0 \leq y \leq \text{Max}(y)$) 进行分割就是将图像划分为满足以下条件的子区域 g_1, g_2, \dots :

(a) $\bigcup_{k=1}^N g_k(x, y) = g(x, y)$, 即所有子区域组成了整幅图像。

(b) g_k 是连通的区域,且满足一定的均匀性条件,均匀性一般指同一区域内的像素点之间的灰度值差异较小或者变化缓慢。

(c) $g_k(x, y) \cap g_j(x, y) = \emptyset$, 即任意两个子区域不存在公共元素。

大多数分割方法是基于灰度值的相似性和不连续性。阈值法^[18-20]是以相似性为基础,根据某一准则把图像的相似区域分割出来。因其实现方法简单、计算量小、具有较高的运算效率、性能表稳定,而成为了图像分割中运用最基本、最广泛的技术。阈值法分为全局阈值法(即最大类间方差法)和局部阈值法。全局阈值法是对整幅图像求出最优分割阈值,可以是单阈值,也可以是多阈值;局部阈值法是把原始的整幅图像分为几个小的子图像,再对每个子图像应用全局阈值法分别求出最优分割阈值。阈值分割法的分割好坏很大程度依赖于阈值的选择,这种方法的关键是如何选择阈值。Ostu 利用类别方差作为依据,提出了类别方差法^[21];Pun 引入熵的概念,提出了利用最大先验熵估计分类合理性来选取阈值的方法^[22];Pal 将模糊理论运用于分割,提出了模糊阈值法^[23]。

阈值分割适合于目标与背景像素灰度值相差较大的图像,对灰度直方图模型也有要求,由于光照不均匀和噪声的干扰,很多图像并不满足这些要求。基于背景拟合的图像分割^[14]能比较好地实现图像分割。

首先用一个曲面对缓变的背景进行拟合,然后按照物体相对于背景的亮度的特点,选取一个偏移量来去除图像背景和噪声的干扰,由此就分割得到没有背景和噪声干扰的图像。开始先应用 B 样条算法^[24]对背景进行拟合。同时偏移量的结果是根据去除背景干扰后图像灰度值的均方差得来的。由此准确地将物体和背景分割出来。假如可以获得图像背景的曲面,且把这个曲面移动到目标物体和背景之间,这样就能把这个曲面看成一个阈值曲面,并由此分割图像的目标和背景。图像中的相邻像素点灰度值不可能会发生突变,因此一个目

标内部的阈值是平滑的,所以得到的阈值曲面也应该是平滑的,即要满足光顺条件的约束。这样在使用偏移量的基础上同时利用光顺项的方法来对曲面进行拟合所得到的结果既包括了灰度的分布还满足了光顺的约束条件。

$$J = \alpha \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |f(i, j) - s(i, j)|^2 + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |s^n(i, j)|^2 \quad (14)$$

式中, E_1, E_2 分别为偏离项和光顺项, $\alpha > 0, \beta > 0, \alpha + \beta = 1$, 分别是偏离项和光顺项的权重系数; $f(i, j)$ 和 $s(i, j)$ 表示原来图像的灰度值以及拟合曲面的取值。当 J 取得极小值时即是所要求的拟合曲面。求式(14)的极小值是个很繁琐的过程,通过 B 样条方法对曲面解析化,就能够很好地解决这个问题。应用 B 样条法的优势是可以直接地利用低维的最小二乘法来得到运算,而且不会使运算的维数增多。

4 成像制导未来趋势

单一频段或模式的制导体制受各自性能弱点的局限,已不能满足现代战场作战的需要。目前亚毫米波技术的开发研究的焦点和走向之一就是亚毫米波成像与其他的一些成像系统进行组合,相互弥补不足,更准确地对目标物体进行检测。多模复合寻的制导是指采用不同工作模式或体制的探测传感器,共同完成导弹末端寻的制导任务。根据导弹的特点及末制导的要求,选用不同制导方式复合,充分利用单个制导方式的长处,并利用其他的制导方式来弥补自身的缺陷,使得整个复合模式的综合性能显著提升,以增加系统的抗干扰能力、反隐身性能、生存能力和可靠性。比如应用亚毫米波的主动成像与被动成像两种体制的组合,或者是亚毫米波/红外成像复合的系统,既可以发挥亚毫米波导引头不受时间限制的特点,又可利用红外成像系统反应速度快、测量精度高、可测量范围广且对物体的鉴别能力好的性质,这正成为目前和将来多种模式复合制导的发展重点。

参考文献

- [1] 秦玉亮,朱厦,王宏强,等. 亚毫米波雷达导引头的特点与应用[J]. 现代防御技术, 2008, 36(6): 144-145
- [2] 夏亚,贺志毅. 亚毫米波导弹末制导技术前景分析[J]. 制导与引信, 2004, 25(1): 18-19
- [3] 李丹,李国桢,唐义平. 高温超导 3mm 波成像技术研究[J]. 低温与超导, 2001, 29(5): 30-34
- [4] 李国桢,李丹,唐义平,等. 高温超导探测器及亚毫米成像原理样机研制[C]//全国微波毫米波会议论文集. 2001: 815-816
- [5] 黄大羽. 复杂环境下弱目标检测与跟踪算法研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012: 4-18
- [6] 罗小云. 雷达微弱目标的 TBD 技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012: 7-22
- [7] 聂建英,李兴国,姜国伟,等. 亚毫米波被动探测目标辐射方程与特性研究[J]. 微波学报, 2010, 26(5): 82-86
- [8] 龚冰. 毫米波/亚毫米波目标辐射特性及探测技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009: 79-98
- [9] 龙敏,周铁军. Lambert W 函数性质及其应用[J]. 衡阳师范学院学报, 2011, 32(6): 38-40
- [10] 徐慧慧,孙运强,姚爱琴. 红外图像目标识别的预处理技术研究[J]. 电子测试, 2010, 10(7): 33-35
- [11] 猴俊培. 太赫兹技术及成像应用探讨[D]. 郑州: 郑州大学, 2009: 50-51
- [12] 王怀野. 一种自适应各项异性高斯滤波方法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 4(10): 18-19

[13] 王筱艳,汪天富,李德玉,等. 一种改进的各向异性高斯滤波算法[J]. 西南民族大学学报,2007,33(1):120-123

[14] 高阳. 成像制导中的图像预处理及目标识别技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2006:16-32/36-38

[15] 王小红. 矩技术及其在图像处理和识别中的应用研究[D]. 西安:西北工业大学,2001:8-22/113-117

[16] 杨浩,裴蕾,李昌顺. 基于 Zernike 矩亚像素边缘检测的快速算法[J]. 计算机应用研究,2011,28(11):4380-4385

[17] 罗希平,田捷,诸葛婴,等. 图像分割方法综述[J]. 模式识别与人工智能,1999,12(3):300-301

[18] 周鲜成. 图像分割方法及其应用研究综述[J]. 信息技术,2007,7(12):11-13

[19] 韩思奇,王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术

术,2002,24(6):91-94

[20] 王琪. 室内安检毫米波辐射特性分析与图像特征提取[J]. 南京:南京理工大学,2013:43-45

[21] 阴国富. 基于阈值法的图像分割技术[J]. 现代电子技术,2007,7(23):107-108

[22] Pun T. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Signal Process,1980,2(3):223-237

[23] Pal S K, King R A, Hashim A A. Automatic grey level thresholding through index of fuzziness and entropy[J]. Pattern Recognition Letters,1983,1(3):141-146

[24] 罗卫兰,杨勋年,郑建民. B 样条曲线的约束光顺算法[J]. 浙江大学学报,2004,31(1):51-56

(上接第 358 页)

素块之间的相异程度。

2.2.2 NLM 滤波算法的适应性改进

本文所研究的基于 GPU 的条码识别系统采用 QNLM (Quick Non Local Means) 滤波算法来进行噪声处理,这主要是因为 NLM 滤波算法虽然噪声处理效果很好,但是在 GPU 上的处理速度很慢。经过多次实验,在一台配置如表 1 所列的实验计算机上运行该算法,处理分辨率为 1024×768 的视频图像平均帧速仅为 8.6 帧/秒,其不适宜作实时图像处理。

表 1 实验计算机配置

CPU 显卡内存		
AMD X2	8800GT	4GB
6000+	512MB 显存	

仔细分析,可以发现在 NLM 算法中,每做一次像素点计算 GPU 需要作 $O(N^2 \times K^2)$ 次的取纹理数据操作。由于 GPU 在处理问题的方式上与 CPU 大不相同,其主要以大量并行计算作为特性,在存取数据时还存在显存 latency 问题。NLM 算法复杂,需要多次访问纹理显存数据来进行计算,然而显存的存取本身又存在 latency 问题,这些原因综合起来使得 NLM 算法在 GPU 上运行的效率很低。

本文采用的 QNLM 算法假定像素块 $\Omega(p)$ 的 $N \times N$ 个像素的值都是一致的,因此只需计算出块 $\Omega(p)$ 的中心像素值,然后用这个值参与 $\text{ColorDistance}(B(x), B(y))$ 的计算。这样 GPU 对显存的存取操作次数就能减少 $O(N^2)$ 。例如,如果取像素块 $\Omega(p)$ 的块大小为 9×9 ,则 QNLM 算法将会比 NLM 算法快 81 倍。

由图 4 可知, QNLM 滤波算法的噪声处理效果较原始 NLM 算法稍差,但是处理速度却快很多。经过多次实验证明,在实验计算机上 QNLM 滤波算法能够达到平均 96 帧/秒的处理速度,能够完全满足实时图像噪声处理的要求。这对于论文所研究的条码识别系统的实时识别具有重要意义。

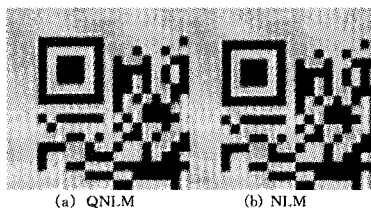


图 4 两种算法处理结构图像

结束语 在二维条码图像的实时采集与识别中,随着二维条码信息含量的增加,需要采集到高分辨率的条码图像才可能识别出条码的信息。但是在传统的基于 CPU 处理的条码识别系统中,高分辨率的条码图像会造成 CPU 运算任务呈指数上升,最终造成识别系统无法满足实时采集与识别的要求。

可编程 GPU 的出现,以及 NVIDIA 公司的 GPGPU 模型 CUDA 的诞生,使得开发在显示芯片 GPU 上进行大规模计算的程序成为了可能,为解决上述问题打开了一扇大门。为此,本文提出了基于 CPU 与 GPU 并行处理架构的条码识别系统。在该架构中把图像采集与条码解码工作放在 CPU 上来完成,把需要作大规模计算的图像处理工作放在 GPU 上来完成,利用双处理器的并行工作能力,加快了高分辨率条码图像的识别速度。同时本文又对该系统的关键技术部分——NLM 噪声处理——进行了详细的研究,采用了能在 GPU 上高速运行的 QNLM 算法来进行图像的高斯白噪声处理,不仅效果明显,而且处理速度较 NLM 滤波算法快几十倍。

由此,本文提出利用可编程 GPU 来加速条码识别系统的图像处理速度,最终达到加快识别系统识别速度的目的,这不仅在技术上是完全可行的,同时还具有较强的实际意义。

参考文献

[1] 范永法. 条码图像识别系统研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):488-489

[2] 朱明莉. 二维条码识别与应用的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006

[3] CUDA Zone 中文站. 深入浅出谈 CUDA[EB/OL]. <http://cuda.csdn.net>,2009-1-16

[4] NVIDIA 公司. NVIDIA CUDA 编程指南[EB/OL]. <http://www.nvidia.cn/>,2009-1-16

[5] Alexander K, Victor P. Image Denoising [M/OL]. NVIDIA, 2007. <http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/sdk/website/projects/imageDenoising/doc/imageDenoising.pdf>,2007-07-20

[6] Buades A, Coll B, Morel J M. Neighborhood Filters and PDE's [J]. Numerische Mathematik,2006,105(1):1-34