

高速粒子场同轴 Fraunhofer 全息数据处理系统研究*

罗振雄 李泽仁 郑贤旭 李作友 叶 雁

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川绵阳 621900)

摘 要 本文介绍了用同轴 Fraunhofer 全息测量强冲击载荷下材料表面微喷射粒子场的数据处理方法。在全息像重建过程中, 将再现的三维粒子场由计算机控制分成许多小薄层采集。在数据处理过程中根据图像中粒子边缘, 决定在整幅图或局部采用边缘检测的方法提取大粒子, 根据图像的灰度分布将图像分成很多小区域, 在每个小区域采用不同的阈值分割图像。在处理结果的校正中根据粒子场的特点, 去除过大、过小和重复统计粒子。采用该方法得到了粒子的空间分布图像及粒子大小的统计结果。

关键词 全息; 粒子场; 再现; 数据处理

中图分类号 O438 **文献标识码** A

0 引言

研究在强冲击载荷下材料自由面的喷射现象, 获取喷射粒子的大小、形状、分布、速度及总质量等信息, 对材料特性的研究和武器的优化设计有重要意义。在测量粒子场的各种方法中, 同轴 Fraunhofer 全息技术具有图像直观、分辨率高, 光路安排简单, 测量景深大及非接触测量等优点^[1]。采用这种技术获得了强冲击载荷下材料自由面的喷射场的全息图。通过再现发现该粒子场粒子很小, 只有几 μm 到几十 μm , 形状各异, 图像对比度也较差, 粒子边缘不明显, 有很多背景噪声等。这就决定了通常采用的静态和准静态粒子场的处理技术无法直接用来处理该图像。在比较相近的研究中, 文献[2]报道的图像处理采用模板匹配的方法来提取图像中几个像素的目标粒子, 该方法在处理圆形粒子时能获得比较好的效果, 但在图像的信噪比较低的情况下很容易将大量的背景噪声识别为目标粒子。文献[3]提出的方法要求目标粒子有一定的大小, 粒子太小也没法处理。文献[4]通过生成一幅背景图, 并用该图像作为分割的阈值曲面图来处理, 该方法分割结果的好坏直接依赖于建立背景图的模型。本文在数据处理中结合边缘检测与阈值分割方法, 并适当的介入人工干预, 建立了一套处理高速微喷射粒子场的方法, 该方法较好地解决了上述问题, 并已在实验中得到应用。

1 再现系统

1.1 系统构成

图 1 为全息再现系统光路图, 其中包括再现激光器、扩束准直透镜、电控三维移动平台、传像透镜、CCD 相机和 PC 控制系统。

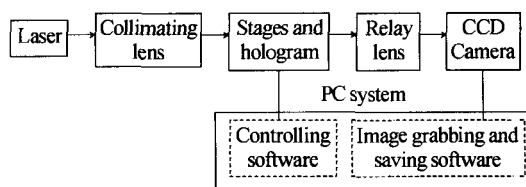


图 1 全息再现系统

Fig. 1 Sketch of holographic reconstruction bench

该系统中, 激光器采用与照像系统所用光源相同波长的 532 nm 的连续半导体激光器, 输出光强由激光器电源调节。扩束准直系统将输出的激光扩束成 45 mm 的均匀光斑来照明到全息图。全息干板装在一个可以在三维方向移动的平台, 该平台由 PC 控制移动, 移动每个步长为 1.25 μm 。生成的粒子场再现图像通过传像透镜成像到 CCD 相机上, PC 控制 CCD 相机采集再现图像并保存。

1.2 图像采集过程

因为 CCD 像面很小只有 8.7 mm \times 6.9 mm, 无法一次采集完整粒子场。采用分块采集的方法, 即一次采集一个很小的体积内的粒子。整个再现图像采集过程如图 2。首先, 沿 Z 轴方向以一定的间距采集图像, 这个间距以系统能分辨的最小粒子的景深为标准, 处理最小粒子为 5 μm 的粒子场, 采用的间距为 200 步, 即沿再现光轴方向每次全息图的移动为 250 μm , 一直到整个粒子场的最边缘。接着, 控制三维移动支架沿 X 轴移动一定的距离 3.5 mm, 并按前面的规则反方向移动 Z 轴至回到 Z 的初始点, 再向 X 方向移动一次, 如此一直循环进行到粒子场在 X 方向的终点。最后, 控制三维移动支架沿 Y 轴移动一定的距离, 再反向重复前面两

* 中国工程物理研究院面上基金(20040426)项目资助
Tel: 0816-2484168 Email: luo_z_x@msn.com
收稿日期: 2004-09-20

步,然后继续向 Y 移动,循环一直到 Y 轴的终点,则整个采集过程完毕.

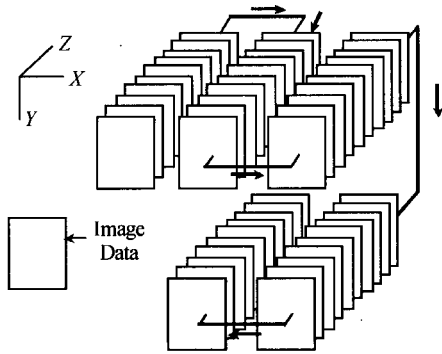


图2 图像采集过程
Fig.2 Sketch of collecting reconstruction image

2 数据处理

2.1 处理过程

为处理复杂的高速动态粒子场图像,整个数据处理过程设计采用如图 3 的方案.该方案采用人工判读与机器自动处理相结合的方法实现再现图像的处理,并通过所得粒子在图像中的像素数与照相时预先加入的标准丝所占的像素数的比较来获得粒子的物理尺寸,进而得到粒子的质量等信息.

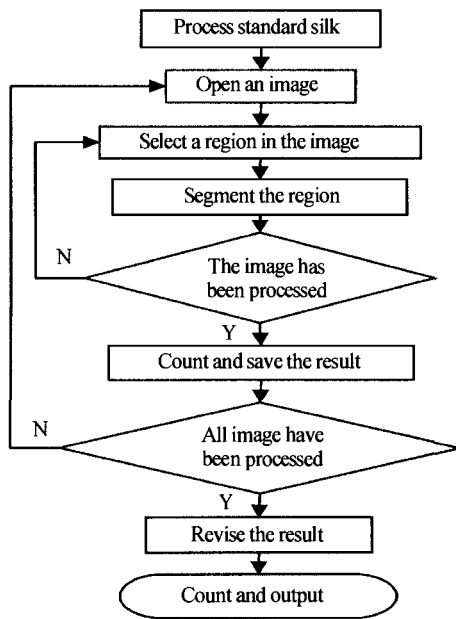


图3 数据处理流程图
Fig.3 The flow chart of disposal data

2.2 粒子的提取

由于实验中所遇到的粒子场的分布在 $5\ \mu\text{m}$ 到几十 μm 之间,而根据再现的情况来看,在采集的再现图像中,大粒子本身的灰度分布不是很均匀,这就需要简单的阈值分割可能将大的粒子分为几个小粒子.处理的办法是先用基于边缘检测的方法提取图像中的大粒子,而用阈值分割法来处理整幅图像,

下面分别介绍这两个过程.

2.2.1 边缘检测方法分割大粒子

边缘检测方法是采用一定的办法检测图像中目标区域的边界的一种常用方法^[5].先采用 Sobel 边缘检测方法得到代表粒子边缘的梯度图,再依次使用边缘细化^[6]、边缘连接、边缘剪切方法来实现粒子边缘的提取.图 4 显示了这个处理过程,其中图 4(a)是原图,图 4(b)是经过边缘检测并取阈值后获得,图 4(c)是边缘细化和边缘剪切后获得,图 4(d)是处理完成后的结果.

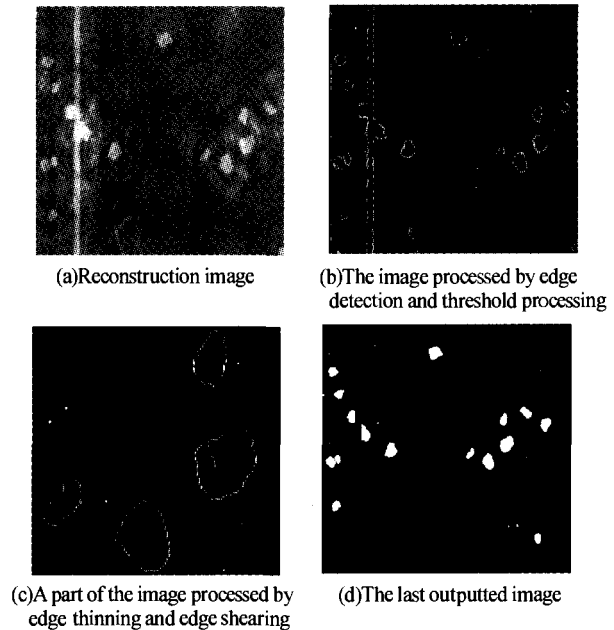


图4 边缘检测过程
Fig.4 The process of edge detection

此方法能较好地处理图像中的大尺寸粒子,但对再现图像中只占几个像素或十几个像素的小粒子,或边缘不是很明确的粒子,边缘检测方法很难处理.对这些粒子,采用阈值方法提取.

2.2.2 阈值方法提取小粒子

采用阈值方法^[7,8]可以很方便地处理图像中的小粒子(几个 μm 至十几个 μm),因为一般情况下,粒子总是比背景“亮”.在实验中,由于照像的激光光斑不均匀、洗像的影响、及粒子密度的关系,每一幅再现图像的灰度分布都不是均匀的,有些地方亮一些,有些地方暗一些.因此在图像分割时不能采用单一的全局阈值的方法处理,否则会出现亮的区域阈值选择过小,而暗的区域阈值选择过大,从而导致处理结果的误差.采用自适应阈值方法似乎可以解决这个问题,最常用的自适应阈值方法是将一幅图像分成若干小块,然后在每一小块计算一个阈值,利用这些阈值点,采用插值的方法得到一个阈值曲面图像.但此方法有一个最大的问题就是如果在所

分的某个区域刚好没有粒子存在,则无论采用什么阈值选取方法,都会将这一个区域的部分背景分割为粒子。

所以采用人工将图像分割若干小区域.采用的方法是由人为选择灰度相对较均匀的区域为一个处理单元.对此处理单元在人工监控下进行处理,处理的方法可采用自动阈值或人工选择合适阈值或者采用边缘检测的方法.在采用这些方法之前,将图像作一下低通滤波处理可以很好地消除噪声,提高处理精度,采用了高斯滤波算子来处理.采用此人机结合的方法虽然牺牲了处理的自动化,但大大提高了处理精度,在对处理结果要求较高,数据量不是很大的情况下,这种方法还是很可取的。

2.3 物理尺寸换算

由于经过图像处理只能得到每个粒子在图像中所占的像素数,通过计算照像和再现过程中,采用的放大率可以得到他的物理尺寸,但此方法要求很准确地知道照像和再现的放大倍数,而且不可避免地要带来测量误差.采用在照像时在物场中预设一根标准丝的方法,该标准丝的尺寸与粒子场的尺寸相仿.通过在再现图像中统计标准丝所占的像素,可以得到图像中每像素所对应的物理尺寸.粒子的直径可用式(1)表示。

$$R=2N \sqrt{A/\pi} \tag{1}$$

式中:A为粒子所占像素数,个;N为图像中每像素对应的物理尺寸, μm .并用球形粒子拟合的方法获得粒子的体积,进而得到粒子的质量。

2.4 处理结果校正

上述处理过程不可避免地包含很多噪声及重复统计的粒子,需要对总的结果作进一步的校正.根据噪声的不同,采用不同的校正方法。

在使用阈值分割图像的结果中,虽然之前使用低通滤波进行了消噪声处理,但作用强度不能太大,所以图像中还是会残留很多高频的噪声,表现在处理后的结果中就是出现很多在图像中只占几个像素、对应物理尺寸只有几个 μm 的小“粒子”,而系统设计分辨率只有5个 μm ,所以这些小于5 μm 的待选粒子将作为噪声被去掉.另外根据大量的实验,得知所测的粒子直径不会大于40 μm ,所以图像中大于这个尺寸的粒子也将被作为噪声去掉。

在处理光轴方向不同层面的粒子时,采用了的每层厚度是以刚好使5 μm 的粒子无法跨越两个层面,但那些大的粒子却会出现在几个层面上,这就需要在最后统计处理的时候予以去除重复统计的粒子.这些粒子在不同的层面上出现时会在其中一个面上呈现边界清晰、亮度集中,而其他面上则会边界变化平缓、亮度变暗,也就是出现离焦现象.很显然,在离焦时处理得到的结果会偏小,因为有一部分模糊的边界会因为与背景太接近而被处理为背景.所以去掉这些离焦的粒子,只需要在整个场的处理结果中寻找大致在同一个X,Y坐标的点,并保留其中最大的一个就可以了。

3 部分处理结果

图5给出了铝飞片使用炸药加载,并用一个带0.3mm小孔挡板限制密度,用波长为532nm,脉宽100ps的脉冲激光器照明获得的其中一幅再现图像,该图像在挡板上方3.12mm处获得,并给出了整个粒子场的处理结果.结果显示粒子的分布集中在5 μm ,尺寸越大,数量越少,最大的粒子没超过24 μm .其中图5(a)是再现的原始图像,图5(b)是该图处理后的结果,图5(c)是整个粒子场的尺寸分布。

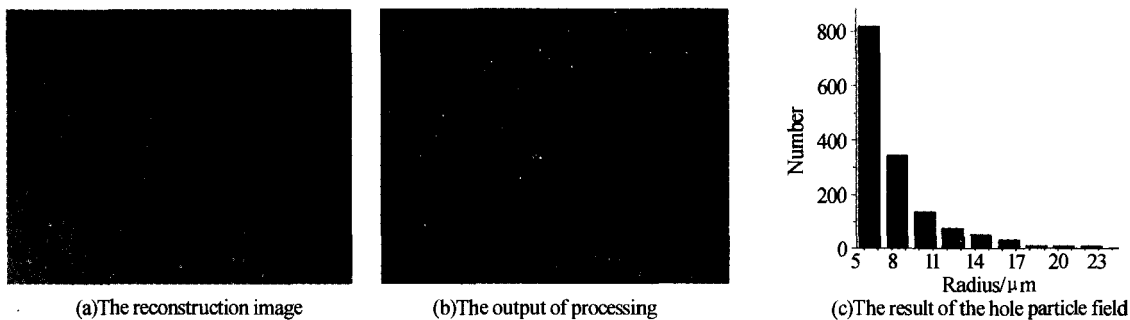


图5 部分再现图像及处理结果

Fig. 5 A part of reconstruction image and the result of the hole particle field

4 结论

本文报导了在用同轴 Fraunhofer 全息方法测量高速粒子场的实验中获得全息图的数据处理方法,这对用脉冲全息技术分析在爆轰加载下材料表

面的特性具有十分重要的意义,且已应用于实验中,取得了很多有意义的结果.该处理系统在重建过程中,采用分层采集的方法处理三维粒子场.在数据处理过程中先根据图像中粒子边缘的情况,决定在整幅图或局部采用边缘检测方法提取大粒子,接着

用人工根据图像的灰度分布的不同将图像分成很多小区域,再采用阈值方法分割图像. 在对处理结果的校正中根据粒子场的特点,去除过小和过大的以及重复统计的粒子. 当然,该处理系统也有不足之处,如需要人工干预,处理的自动化程度不高. 接下来的工作,将对该系统的处理精度进行不确定度分析,并努力提高整个处理过程的自动化程度.

参考文献

- 1 刘子超,赵云惠. 液雾及颗粒的激光测量. 北京:宇航出版社,1988. 294~397
Liu Z C, Zhao Y H. Liquid Spray and Grain measurement with the Laser. Beijing: Space Navigation Press, 1988. 294~397
- 2 李茹,王国志,张耀明. 含铝推进剂燃烧场全息粒子图像处理系统的研究. 光子学报. 1999, 28(12): 1107~1112
Li R, Wang G Z, Zhang Y M. *Acta Photonica Sinica*, 1999, 28(12): 1107~1112
- 3 刘雷健,张静宇,邹永革,等. 全息粒子场再现图像自动分析方法与实现. 计算机学报, 1996, 19(9): 717~720
Liu L J, Zhang J Y, Wu Y G. *Chinese J Computers*, 1996, 19(9): 717~720
- 4 Tunnell T W, Frederickson R H, DeLanoy A D, *et al.* Deriving particle distributions from in-line fraunhofer holographic data. *SPIE*, 1997, 3163: 558~565
- 5 章毓晋. 图像分割. 北京:科学出版社, 2001. 9~19
Zhang Y. J. *Image Segmentation*. Beijing: Science Press, 2001. 9~19
- 6 章毓晋. 图像分割. 北京:科学出版社, 2001. 190~192
Zhang Y J. *Image Segmentation*. Beijing: Science Press, 2001. 190~192
- 7 王保平, 范九伦, 谢维信, 等. 一种基于代价函数和模糊熵的图像分割方法. 光子学报, 2003, 32(12): 1502~1505
Wang B P, Fan J L, Xie W X, *et al.* An image segmentation method based on cost function and fuzzy entropy. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(12): 1502~1505
- 8 付小宁, 殷世民, 刘上乾. 一种改进的自适应模糊阈值图像分割方法. 光子学报, 2003, 32(5): 605~607
Fu X L, Ying S M, Liu S Q. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(5): 605~607

The Data Extracting System of High-Speed Particle Field Measurement Using In-line Fraunhofer Holography

Luo Zhenxiong, Li Zeren, Zheng Xianxu, Li Zuoyou, Ye Yan

Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900

Received date: 2004-09-20

Abstract In this paper, the data extracting method of high speed particle field ejected from material surface under explosion using in-line Fraunhofer holography was introduced. During the reconstruction, the image of the 3D particle field reconstructed from hologram was divided into many small slices and then these slices was acquired by a CCD camera. During the data processing, first of all whether in the whole or in some parts of the image extracting larger particles using edge detection based on the edge of particles in the image was determined, then the image was divided into several small areas and these small areas was segmented using a threshold. On the last process of correcting the result, the particles that was larger or smaller than a standard was confirmed as noise and that was repeatedly disposed were got rid of. Using this method, the space-distributing and the statistic of the particles were achieved.

Keywords Holography; Particle field; Reconstruction; Data process



Luo Zhenxiong was born in 1978. He received his B. S. degree from Photoelectron Technology Department of UESTC in 2000. He is currently pursuing his M. S. degree in China Academy of Engineering Physics. Now he is engaged in holography.