

文章编号: 100124322(2004)0921195204

# 基于图像处理技术的束流剖面监视系统<sup>x</sup>

董金梅, 原有进

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃兰州 730000)

**摘 要:** 介绍了在兰州重离子加速器上利用荧光靶图像获取装置测量并计算束流剖面参数的方法, 并建立了图像获取、处理、束流参数计算的实时测量软件系统。该系统具有可靠性好、测量直观、界面友好等优点。

**关键词:** 图像获取装置; 束流剖面; 图像处理

**中图分类号:** TL503.6 **文献标识码:** A

为了测量束流传输过程中的束流形状和束流剖面, 在兰州重离子加速器(HIRFL)束流输运线上设计安装了数套荧光靶束流获取装置, 实时测量束流在传输过程中的形状, 对束流传输及匹配束流注入效率非常重要。本文介绍了束流在荧光靶上产生束斑后经过图像获取送到计算机进行图像处理、分析计算的方法和数据处理及软件设计。

## 1 测量系统概述

束流剖面测量系统一般由四部分组成: 荧光靶、CCD 光学成像系统、O K2M70 图像获取卡和计算机处理系统。当离子束打在荧光靶上, 形成相应的束流光斑, CCD 摄像机记录下荧光靶上的亮度信号, 经过图像采集卡将 CCD 摄像机捕捉的视频信号转换成数字信号, 然后输入到计算机进行图像数据计算、处理和显示。

## 2 束流剖面图像数据处理

### 2.1 噪声处理

从 O K2M70 图像获取卡中设置获取的图像是 256 级的灰度图像, 每帧图像有 768 × 576 个像素, 光斑的每一点的强度用该点的灰度级来表示, 图像为 8bit DIB 的灰度图像, 以 3 .BMP 格式的文件存储在计算机中。图像数据存放在一个二维数组中, 从中可以计算出束流剖面的几个重要参数: 束流中心位置、半高宽等。

通常, CCD 在曝光时间较长的图像上, 会留下一个像星空那样固定的噪声, 因此, 可在没有束流时, 采集一帧荧光靶上的图像作为本底, 从获得的束流图像中减去本底中相对应各点的灰度值, 就得到我们要处理的图像数据。为了减小噪声, 还采用了图像的模板操作。将原图中的一个像素的灰度值和它周围邻近 8 个像素的灰度值相加, 然后求平均值, 作为新图中该像素的灰度值, 可用模板公式(1)表示该操作, 中间的黑点表示该元素为要进行处理的元素。对于边界上无法进行模板操作的点, 一般做法是复制原图的灰度值。

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cdot & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

由于处理噪声当中, 数据量大, 会大大影响程序的运行速度, 在程序编制中采用了多线程技术, 编写了噪声处理线程, 将图像的采集和噪声处理分解在两个线程当中进行。

### 2.2 图像增强

图像增强采用的是图像点运算的方式, 将原始图像所有点的灰度按照灰度拉伸变换函数进行变换, 产生一幅新的输出图像。灰度拉伸可以更加灵活地控制输出图像的对比度, 它可以有选择地拉伸某段灰度区间以改善输出图像的质量。其变换函数为

<sup>x</sup> 收稿日期: 2003212216; 修订日期: 2004204202

基金项目: 国家 HIRFL 改造项目资助课题

作者简介: 董金梅(1976 →), 女, 陕西富平人, 硕博连续研究生, 主要从事计算机技术与加速器控制等方面的研究; 兰州市 31 号信箱 115 信箱; E2mail: dongjinmei @mpcas. ac. cn。

$$f(x) = \begin{cases} y_1, & x < x_1 \\ \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ y_2, & x > x_2 \end{cases} \quad (2)$$

变换函数的运算结果是将原图在  $x_1$  和  $x_2$  之间的灰度拉伸到  $y_1$  和  $y_2$  之间。若束流光斑图像灰度集中在较暗或较亮的区域,可以用灰度拉伸功能来拉伸,以更加清晰地分辨束流光斑。另外,还对经过灰度拉伸后的图像进行了等高显示处理,等高显示处理使用了公式(3)。其中  $x$  为拉伸后图像中像素灰度值,  $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  为拉伸后图像中像素灰度值的最大和最小值,  $y$  为等高处理后图像中像素灰度值,  $N$  为等分阶数。

$$y = \text{int} \left( \frac{xN}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N} \quad (3)$$

### 2.3 图像的边缘检测

边缘检测的目的是分离出图像中的束流光斑,此方法在用胡椒瓶法测量发射度时可用于每个光斑边界的识别。因为束流光斑的边缘是由灰度的不连续性所反映的,所以可以利用边缘邻近二阶方向导数变化规律,考察图像中每个像素在某个邻域内灰度的变化。软件中用高斯拉普拉斯算子来进行边缘检测。此算子是一个  $5 \times 5$  的模板,如公式(4)。

$$\begin{bmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -4 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

此模板算子是把高斯平滑滤波和拉普拉斯微分运算结合,然后离散化得到的,是很好的边缘检测器。此模板操作类似于 2.1 中提到的操作方法。

### 2.4 束流中心位置和相对强度的计算

图像数据存放在一个二维数组中,数组中每个元素的行、列下标  $(x, y)$  可看成是数组中该元素的坐标值,而该元素的值是该坐标处像素的灰度值  $z_{x,y}$ 。可以使用灰度值来计算束流中心位置,得到  $x$  方向中心位置公式(5)。同理可得到  $y$  方向中心位置。束流光斑图的相对强度是图像像素灰度的平均值,将图像中所有像素的灰度值相加,然后除以图像中像素的个数,就计算出了相对强度。

$$x = \frac{1}{\sum_{x,y} z_{x,y}} \sum_{x,y} (xz_{x,y}) \quad (5)$$

### 2.5 束流半高宽的计算

束流的半高宽即束流的半包络,它是评价加速器的重要参数。下面计算束流半高宽。用公式(6)计算可得到  $x$  方向剖面分布函数  $g(x)$ 。

$$g(x) = \sum_y z_{x,y} \quad (6)$$

然后求出  $g(x)$  的最值  $g_{\max}$  和  $g_{\min}$ ,那么在分布函数  $g(x)$  中可找到两个点  $x_1$  和  $x_2$ ,使得公式

$$g(x_1) = g(x_2) = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{2} + g_{\min} \quad (7)$$

成立。因此  $x$  方向半高宽  $x$  为

$$x = \frac{x_2 - x_1}{2} \quad (8)$$

同理可计算出  $y$  方向半高宽  $y$ 。用函数  $g(x)$  就拟合出了  $x$  方向剖面分布曲线图,同理可得到  $y$  方向剖面分布曲线图。

## 3 软件设计

采用 VisualC++ 6.0 文档视窗的结构编写了荧光靶图像处理软件,文档负责图像数据的保存和处理,而视窗负责图像的显示。编写了图像显示、处理、计算、保存的 Windows API 函数库。软件除了具备前面提到的

功能,还显示了束流强度三维分布图和对图像的伪彩色显示。在三维显示时,利用了滚动条来改变视角,滚动时为了避免三维图像的闪烁,采用了内存复制技术,即先把三维图像画到内存中,然后复制到屏幕上。另外,图像伪彩色变换后,可以看到图像更精细的变化。图像伪彩色显示是用指定的伪彩色调色板来替换当前图像调色板实现的。用鼠标消息实现了对获取图像进行感兴趣区域提取。软件中设计了两个 C++ 类,分别用于图像的增强和三维处理。

软件结构清晰,封装性好,易于移植,同时具有友好的界面,所显示信息直观、明了。图 1 和图 2 显示了该软件的测试效果。图中的测量值是以像素数给出的。

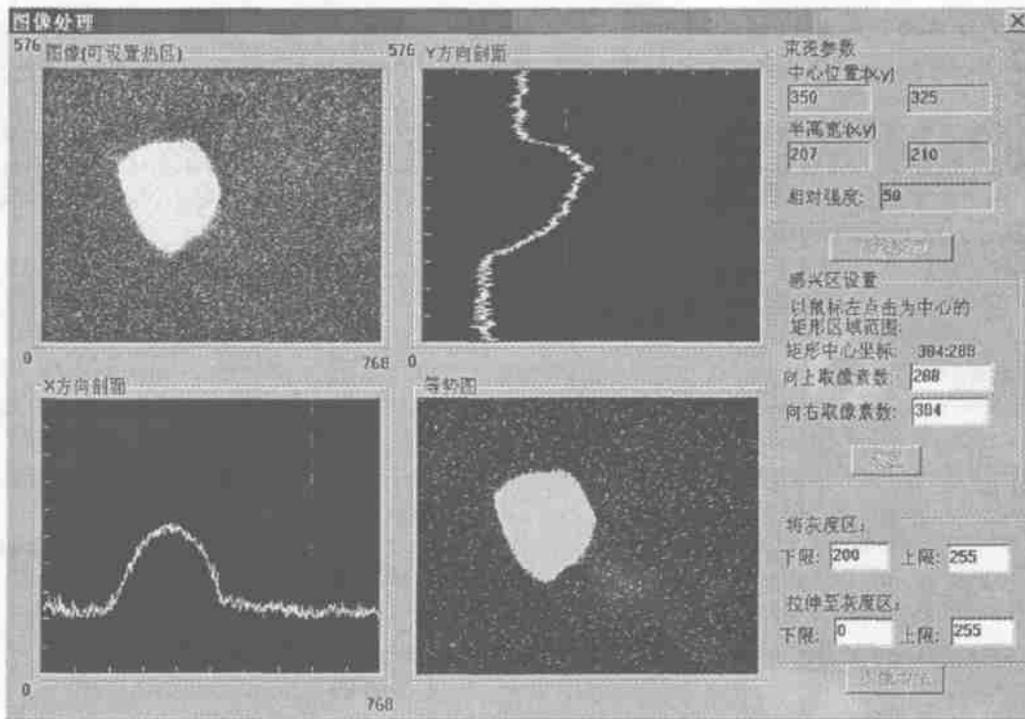


Fig. 1 Main interface of image processing software

图 1 荧光靶图像处理软件主要界面

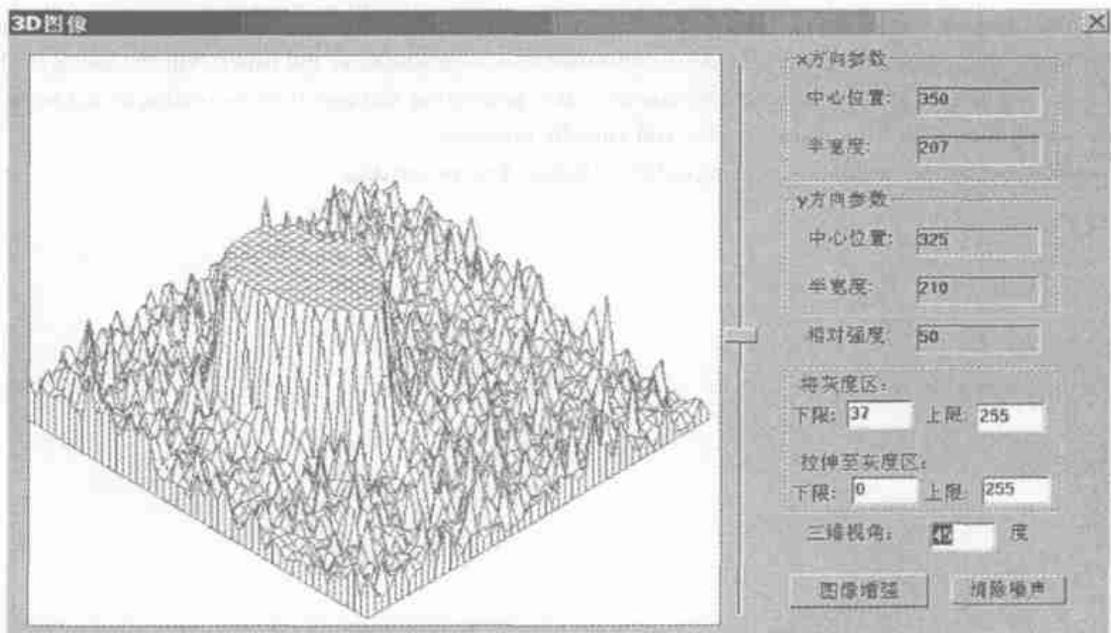


Fig. 2 Beam intensity distribution with three dimension display

图 2 束流强度空间分布界面图

影响测量精度的主要因素有摄像机的测量误差,约为 0.1mm,为保持这一精度,要求机械定位精度好于 0.05mm。摄像机对光强要有很好的分辨能力,荧光靶的线性响应要很好。

#### 4 总 结

该系统在 HIRFL 束线进行了测试,达到了设计要求,可以直观、可靠、实时地监测束流,为以后束流发射度的测量打下了基础。

#### 参考文献:

- [1] 王国栋,谭继廉,付克明,等. 全反射 X 荧光分析技术及其应用[J]. 核电子学与探测技术,2002,22(3):268—271. (Wang G D, Tan J L, Fu K M, et al. Setup and application of technology of total reflection X-ray fluorescence. *Nuclear Electronics & Detection Technology*, 2002, 22(3): 268—271)
- [2] 王书鸿,叶强,曹建社,等. 多次改变聚焦强度法测量束流发射度[J]. 高能物理与核物理,2002,26(11):1184—1188. (Wang S H, Ye Q, Cao J S, et al. Emittance measurement by multi-changing focusing strength. *High Ener Phys and Nucl Phys*, 2002, 26(11):1184—1188)
- [3] Hearn D, Baker M P. 计算机图形学[M]. 北京:清华大学出版社,1998. 184—248. (Hearn D, Baker M P. *Computer graphics*. Beijing: Tsinghua University Press, 1998. 184—248)
- [4] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社,2001. 20—77. (He B, Ma T Y, Wang Y J, et al. *Visual C++ digital image processing*. Beijing: Posts & Telecom Press, 2001. 20—77)
- [5] Seeman J T. Handbook of accelerator physics and engineering[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1999. 560.
- [6] 陈思富,丁伯南,夏连胜,等. 强流短脉冲电子束束剖面的时间分辨测量[J]. 强激光与粒子束,2002,14(2):317—320. (Chen S F, Ding B N, Xia L S, et al. Time-resolved beam profile measurement of high-current, short-pulse electron beam. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, 14(2):317—320)
- [7] 曹泽新,施义晋. 断层扫描技术在束流发射度测量中的应用[J]. 强激光与粒子束,2001,13(5):637—640. (Cao Z X, Shi Y J. Application of CT in measuring beam transverse-phase-space density. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, 13(5):637—640)
- [8] Castleman K R. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2002. 10—26. (Castleman K R. *Digital image processing*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 10—26)

## Beam profile monitor based on image processing technology

DONG Jinmei, YUAN Youjin

(Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 312115, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** An introduction was given to beam profile monitoring system based on image acquisition facilities using fluorescent target. The method of data processing and image intensification was emphasized in the paper. On the bases of this research, a software system was designed to realize image data acquisition, data processing and real-time measuring of ion beam parameters. The software system has good reliability, visual display and friendly interface.

**Key words:** Image acquisition facilities; Beam profile; Image data processing